

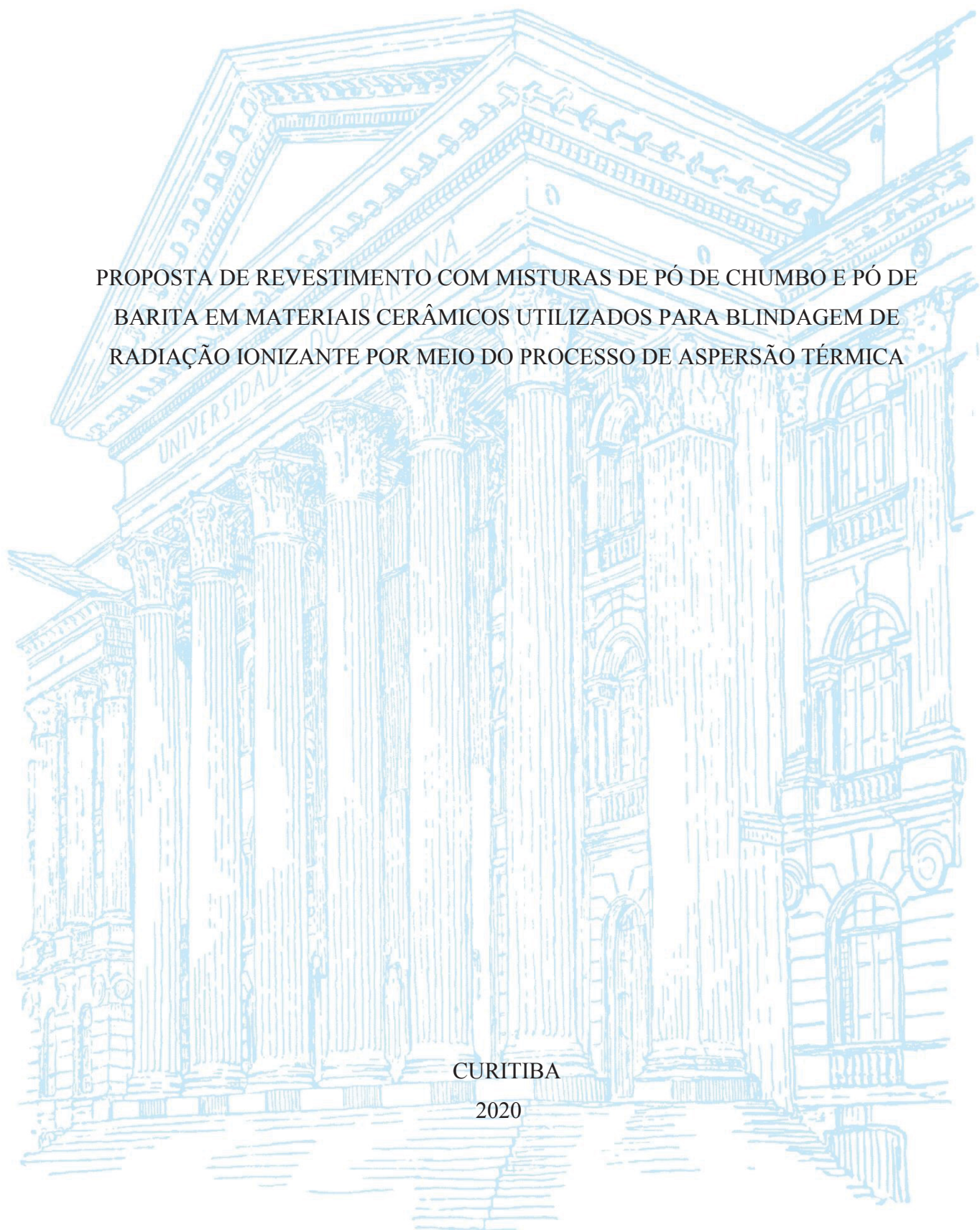
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GLADIS APARECIDA GALINDO REISEMBERGER DE SOUZA

PROPOSTA DE REVESTIMENTO COM MISTURAS DE PÓ DE CHUMBO E PÓ DE
BARITA EM MATERIAIS CERÂMICOS UTILIZADOS PARA BLINDAGEM DE
RADIAÇÃO IONIZANTE POR MEIO DO PROCESSO DE ASPERSÃO TÉRMICA

CURITIBA

2020



GLADIS APARECIDA GALINDO REISEMBERGER DE SOUZA

PROPOSTA DE REVESTIMENTO COM MISTURAS DE PÓ DE CHUMBO E PÓ DE
BARITA EM MATERIAIS CERÂMICOS UTILIZADOS PARA BLINDAGEM DE
RADIAÇÃO IONIZANTE POR MEIO DO PROCESSO DE ASPERSÃO TÉRMICA

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do
título de Doutora em Engenharia Mecânica do
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
da Universidade Federal do Paraná, Setor de
Tecnologia, na área de concentração Manufatura.

Orientador: Prof. Dr. Ramón Sigifredo Cortés Paredes
Co-orientadora: Prof^ª. Dra. Frieda Saicla Barros

CURITIBA

2020

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

R375p Reisenberger Gladis Galindo
Proposta de revestimento com misturas de pó de chumbo e pó de barita em materiais cerâmicos utilizados para blindagem de radiação ionizante por meio do processo de aspersão térmica [recurso eletrônico] / Gladis Galindo Reisenberger – Curitiba, 2020.

Tese - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Profo. Dr. Ramón Sigifredo Cortés Paredes

Coorientadora: Profa. Dra. Frieda Saicla Barros

1. Aspersão térmica. 2. Radiação Ionizante. 3. Revestimentos (Azulejos). I. Universidade Federal do Paraná. II. Paredes, Ramón Sigifredo Cortés. III. Barros, Frieda Saicla. IV. Título.

CDD: 671.734

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
MECÂNICA - 40001016040P5

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA MECÂNICA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **GLADIS APARECIDA GALINDO REISEMBERGER DE SOUZA** intitulada: **PROPOSTA DE TRATAMENTO COM MISTURAS DE PÓ DE CHUMBO E PÓ DE BARITA EM MATERIAIS CERÂMICOS UTILIZADOS PARA BLINDAGEM DE RADIAÇÃO IONIZANTE POR MEIO DE PROCESSO DE ASPERSÃO TÉRMICA**, sob orientação do Prof. Dr. RAMON SIGIFREDO CORTES PAREDES, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa. A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 20 de Fevereiro de 2020.



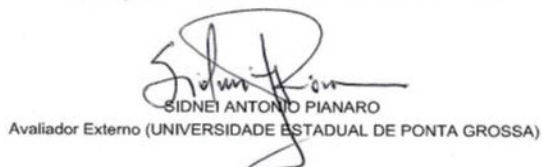
RAMON SIGIFREDO CORTES PAREDES
Presidente da Banca Examinadora



THAIS HELENA SYDENSTRICKER FLORES SAHAGUN
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



GUSTAVO BAVARESCO SUCHARSKI
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



SIDNEI ANTONIO PIANARO
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA)



MARIA LÚCIA LEITE RIBEIRO OKIMOTO
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

DEDICATORIA

Dedico esta Tese, com muito amor, a minha neta Laura Brandão Braga, desejando que todo o conhecimento do mundo chegue até sua mente brilhante. Para sempre.

Dedico também ao meu esposo Ricardo Brandão Reisenberger de Souza, aos meus filhos amados Talita, Philipe, Taiana e Mariah, com todo o amor deste mundo.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento eterno ao criador, ao Universo e ao mundo.

Em especial ao Professor Doutor e orientador Ramón Sigifredo Cortés Paredes, por ter aceitado me orientar, mesmo eu sendo de outra área e que com toda paciência do mundo, permitiu e colaborou muito para que eu aprendesse muito sobre Aspersão Térmica.

Com todo o carinho do mundo, agradeço a Professora Doutora e coorientadora FriedaSaicla Barros, UTFPR, por me acolher nesta jornada, da parte da física, desta Tese. Foi ela quem abraçou com garra todos os momentos difíceis desta pesquisa.

Meus sinceros agradecimentos a todos os integrantes do Laboratório de Aspersão Térmica e soldas especiais (LABATS), com créditos especiais ao Professor Dr. Gustavo Bavaresco, professores, alunos, amigos e em especial aos que me ajudaram muito na confecção desta pesquisa. Carinho especial por todos do LABATS.

Agradecimentos aos médicos e Professores Dr. Carlos Dalmaso Neto e Dr. Marcos Brioschi, pelos ensinamentos importantes para o trabalho na área de Termografia.

Agradeço a Professora Dra. Maria Lucia Okimoto do LABERG (UFPR), pela ajuda com empréstimos da câmera de termografia no momento que foi necessário. Agradecimentos a todos os laboratórios da Universidade Federal do Paraná, em especial ao Professor Dr. Sebastião Ribeiro Junior do LACTEC, por todos os experimentos necessários desta pesquisa.

Gratidão a todos os professores e funcionários da UFPR pela oportunidade de estudar nesta instituição pública e fantástica.

Com muito amor agradeço a minha família querida que é toda a força que tenho, esposo, filhos (incluindo genros e noras) neta, netos que ainda virão e sogra.

Agradeço aos meus pais maravilhosos, in memoriam.

Aos amigos queridos pelo hiper apoio o tempo todo nesta etapa da vida.

Agradeço a oportunidade de poder concretizar este sonho.

EPÍGRAFE

Ainda que eu falasse a língua dos anjos
e falasse a língua dos homens, sem amor, eu nada seria!

(Apostolo Paulo. Adaptado por Renato Russo)

Cada pessoa deve trabalhar para o seu aperfeiçoamento e,
ao mesmo tempo, participar da responsabilidade
coletiva por toda a humanidade.

Marie Curie

A mente que se abre a uma nova idéia
jamais voltará ao seu tamanho original.

Albert Einstein

RESUMO

O presente trabalho tem como propósito o estudo de revestimento com misturas de pó de chumbo (Pb) reciclado e pó de barita (BaSO_4), pelo processo de aspersão térmica (AT), chama oxiacetilênica (FS), no intuito de produzir azulejos para blindagem de radiação ionizante. Após definição do método de pesquisa, que se estabelece nas seguintes etapas: compactação sinterização da mistura dos pós, moagem, determinação do tamanho de grão, continuado por deposição por aspersão térmica e caracterização dos materiais por difratometria de raios x (DRX), microscopia óptica (MO), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia por dispersão de energia (EDS), foi analisado o comportamento do revestimento, quando sujeito a exposição da radiação ionizante X, comprovado a seguir pela tecnologia da termografia e poderá ser utilizado como um componente de atenuação nas blindagens de locais que as obtenha. O estudo faz parte da análise do material de revestimento com uma interpretação de qualidade voltada para o projeto do produto e do processo. Obteve-se resultados satisfatórios no revestimento, como novas fases encontradas (Gladizite e Barito Anglesite) e os ensaios de atenuação, mostrou que o revestimento proposto melhora a absorção dos raios X, facilitando a execução de projetos e reformas em ambientes hospitalares e ou industriais, que possuam, como material de trabalho, a radiação X, com finalidade de proteção dos indivíduos envolvidos.

Palavras-chave: Aspersão térmica. Radioproteção. Coeficiente de atenuação. Radiação ionizante. Revestimento. Termografia.

ABSTRACT

The purpose of this work is the study of coating with mixtures of recycled lead powder (Pb) and barite powder (BaSO_4), by the thermal spray process (AT), oxyacetylene flame (FS), in order to produce tiles for armor ionizing radiation. After defining the research method, which is established in the following steps: compaction, sintering of the powder mixture, grinding, determination of the grain size, continued by thermal spray deposition and characterization of the materials by X-ray diffractometry (XRD), optical microscopy (MO), scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersion spectroscopy (EDS), the behavior of the coating was analyzed, when subjected to exposure to ionizing radiation X, proven below by thermography technology and can be used as a attenuation component in the shields of locations that obtain them. The study is part of the analysis of the coating material with a quality interpretation focused on the product and process design. Satisfactory results were obtained in the coating, such as new phases found (Gladizite and Barito Anglesite) and the attenuation tests, showed that the proposed coating improves the absorption of X-rays, facilitating the execution of projects and reforms in hospital and or industrial environments, that have, as work material, X radiation, for the purpose of protecting the individuals involved.

Keywords: Thermal spraying. Radioprotection. Attenuation coefficient. Ionizing radiation. Coating.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO	18
FIGURA 2 -	EFEITO COMPTON	20
FIGURA 3-	ESPECTRO DE RAIOS X FREAMENTOS E RAIOS X CARACTERÍSTICOS	21
FIGURA 3 -	COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO DO CHUMBO DETERMINANDO CAMADA SEMI-REDUTORA	24
FIGURA 5-	IMAGENS RADIOGRÁFICAS MOSTRANDO A DIFERENÇA DE INTENSIDADE DE TONS DE CINZA PARA CADA ESPESSURA	26
FIGURA 6-	CURVAS DE ATENUAÇÃO EM FUNÇÃO DA ESPESSURA	27
FIGURA 7-	IMAGENS RADIOGRÁFICAS E PERFIL DE TONS DE CINZA	28
FIGURA 8-	ELEMENTO QUÍMICO: SO ₄ BA: SULFATO, BARITINA(BARITA) VERDE.....	29
FIGURA 9-	ELEMENTO QUÍMICO:SO ₂ BA:SULFATO BARITINA (BARITA) BRANCA	29
FIGURA 10 -	GALENA, MINERAL ONDE O CHUMBO É RETIRADO.....	32
FIGURA 11-	PROCESSOS DE PRODUÇÃO PRIMÁRIA DO CHUMBO	32
FIGURA 12-	ESQUEMA DEAPLICAÇÃO DO PROCESSO DE ASPERSÃO TÉRMICA	39
FIGURA 13-	FLUXOGRAMA DE SUBDIVISÕES DO PROCESSO DE ASPERSÃO TÉRMICA	40
FIGURA 14-	EXEMPLO DE REVESTIMENTO DEPOSITADO POR ASPERSÃO TÉRMICA	42
FIGURA 15-	ETAPA APLICADA NO DESENVOLVIMENTO DOS MATERIAIS PARA A PESQUISA	48
FIGURA 16-	DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PÓ DE CHUMBO	49
FIGURA 17-	DIAGRAMA DE FASE Ba Pb	50
FIGURA 18-	MISTURAS DOS PÓS DE BaSO ₄ E Pb EM TRES PROPORÇÕES DIFERENTES	51
FIGURA 19-	PEÇAS DE CERÂMICA DISPOSTAS PARA A REALIZAÇÃO DOS TESTES	52
FIGURA 20-	MODELO DE PISTOLATHERMOSPRAY@GUNS DA SULZER METCO	53
FIGURA 21 -	VISTA LATERAL DE REVESTIMENTO EMBUTIDO COM BAQUELITE E RESINA A FRIO ..	55
FIGURA 22-	EQUIPAMENTO DE MICROSCOPIA OPTICA	56
FIGURA 23-	FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA APLICADA NO DESENVOLVIMENTO DA SEGUNDA ETAPA DA PESQUISA	58
FIGURA 24-	AGLORMERADO OBTIDO NA MISTURA DE CHUMBO E BARITA APÓS SINTERIZAÇÃO	60
FIGURA 25-	MOAGEM DO MATERIAL OBTIDO APÓS SINTERIZAÇÃO	60
FIGURA 26-	DEPOSIÇÃO DA MISTURA DOS MATERIAIS PELO PROCESSO DE ASPERSÃO TÉRMICA	63
FIGURA 27-	CERÂMICAS REVESTIDAS COM O MATERIAL MISTURADO POR AT	63
FIGURA 28-	EQUIPAMENTO DE RAIOS X UTILIZADO PARA O ARRANJO EXPERIMENTAL DO ESTUDO	67
FIGURA 29-	PROGRAMA IMAGEJ	69
FIGURA 30-	DADOS 1 DO PROGRAMA XCOM	70
FIGURA 31-	DADOS 2 DO PROGRAMA XCOM	70
FIGURA 32-	DADOS 3 DO PROGRAMA XCOM	71
FIGURA 33-	DADOS 4 DO PROGRAMA XCOM	71
FIGURA 34-	DADOS 5 DO PROGRAMA XCOM	72
FIGURA 35-	MICROSCOPIA ÓPTICA DO REVESTIMENTO (ETAPA INICIAL)	75

FIGURA 36-	MORFOLOGIA DA MISTURA DOS PÓS DE Pb E BaSO ₄ FORMADA APÓS SINTERIZAÇÃO	76
FIGURA 37-	IMAGEM MEV, (A) AUMENTO DE 300 VEZES, (B)AUMENTO DE 100 VEZES	77
FIGURA 38-	ESPECTRO COM AS ANÁLISES QUÍMICAS DA AMOSTRA	77
FIGURA 39-	EDS MAPA DE ELEMENTOS QUÍMICOS	78
FIGURA 40-	DIFRAÇÃO DE RAIOS X DO RESÍDUO DE PÓ DE CHUMBO	79
FIGURA 41-	DIFRAÇÃO DE RAIOS X DA BARITA	80
FIGURA 42-	DIFRATOMETRIA DE RAIOS X, DAS MISTURAS DO PÓ DE BARITA COM O PÓ DE CHUMBO	82
FIGURA 43-	REVESTIMENTO EM CERÂMICA CRUA ANALISADO POR DRX	84
FIGURA 44-	COMPARAÇÃO PADRÃO DRX DO REVESTIMENTO E PÓ DE BARITA	85
FIGURA 45-	SEGMENTAÇÃO DO REVESTIMENTO CONFORME AS FASES E ESTRUTURAS PRESENTES	86
FIGURA 46-	MATERIAL DEPOSITADO POR ASPERSÃO	86
FIGURA 47-	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA AUMENTADA EM 25.000 VEZES	87
FIGURA 48-	PARTÍCULA DA AMOSTRA, COM PEQUENAS TRINCAS	89
FIGURA 49-	MAPEAMENTO EDS DO REVESTIMENTO	90
FIGURA 50-	ESPECTRO EDS DE PONTO, REGIÃO DE BARITA	91
FIGURA 51-	EVOLUÇÃO DOS DIFRATOGRAMAS ENTRE AS DUAS FASES DE CHUMBO E BARITA ...	92
FIGURA 52-	ESTRUTURA CRISTALINA DA BARITA	93
FIGURA 53-	ESPECTRO DA SOMA DE MAPAS (Wt%) DOS ELEMENTOS QUÍMICOS	93
FIGURA 54-	COMPARAÇÃO DA ATENUAÇÃO NO REVESTIMENTO E PLACA DE CHUMBO EM AMOSTRAS DE CERÂMICA CRUA, COM ESPESSURAS E ENERGIA SELECIONADAS DE 7,4 E 7,7 MM, 150 KV	96
FIGURA 55-	CURVAS DE ATENUAÇÃO RELACIONADAS COM A ESPESSURA E TONS DE CINZA (ADIMENSIONAL), VALORES VINCULADOS A TABELA 10)	97
FIGURA 56-	CURVAS DE ATENUAÇÃO EM MASSA X ENERGIA PARA MATERIAL DE REFERÊNCIA E COMPOSTO REFERENTE AOS PÓS MISTURADOS	98
FIGURA 57-	IMAGENS COM MEDIDAS DE INTENSIDADE DE POTÊNCIA	99
FIGURA 58-	TERMOGRAMA COM ANÁLISE DE ENERGIA RADIANTE DA AMOSTRA ANTES DE SER SUBMETIDA AS ENERGIAS DE RAIOS X	100

LISTA DE TABELAS

TABELA1 -	INTERAÇÕES POSSÍVEIS DE OCORRER PARA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA IONIZANTE	21
TABELA 2 -	CARACTERÍSTICAS DA BARITA	49
TABELA 3 -	QUADRO DAS MEDIDAS DAS RUGOSIDADES	52
TABELA 4 -	PARÂMETROS UTILIZADOS NA ASPERSÃO TÉRMICA	54
TABELA 5 -	PARÂMETROS UTILIZADOS NO EQUIPAMENTO DRX	57
TABELA 6 -	MEDIDAS DE RUGOSIDADE DAS AMOSTRAS JATEADAS (SEGUNDA ETAPA)	61
TABELA 7 -	PARÂMETROS DA SEGUNDA ETAPA NA ASPERSÃO TÉRMICA	62
TABELA 8 -	PARÂMETROS PARA ANÁLISE DO DRX DA MISTURA DOS PÓS (BaSO ₄)	65
TABELA 9 -	PARÂMETROS PARA ANÁLISE DO DRX DE REVESTIMENTO DEPOSITADO POR PTA	65
TABELA10 -	ESPESSURAS DAS CAMADAS DE 6 AMOSTRAS ANALISADAS (m/m)	68
TABELA11 -	COMPONENTES DEMONSTRADOS NO DRX DO ELEMENTO CHUMBO	80
TABELA12 -	COMPOSIÇÃO QUÍMICA PRESENTE NO PÓ DE BARITA	81
TABELA13 -	FASES IDENTIFICADAS DA MISTURA DO PÓ DE BARITA COM PÓ DE CHUMBO	82
TABELA14 -	FASES IDENTIFICADAS NO REVESTIMENTO	85
TABELA15 -	PORCENTAGEM (Wt%) DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE ELEMENTOS DO REVESTIMENTO.....	94
TABELA16 -	ÍNDICES DE ATENUAÇÃO COM SEUS RESPECTIVOS VALORES DE ENERGIA, EM FUNÇÃO DAS ESPESSURAS(I/I ₀)	95
TABELA17 -	CARACTERÍSTICAS DA ATENUAÇÃO (REVESTIMENTOS E PLACA DE CHUMBO REFERÊNCIA) DE ACORDO COM AS ENERGIAS	96

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

AT	Aspersão Térmica
FS	Chama oxiacetilênica
EM	Eletromagnética
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
DNA	Material genético, Ácido Desoxirribonucleico
ALARA	Princípio da otimização (Radiologia) <i>As Low As Reasonably Achievable</i>
HVL	Camada semi-redutora
EPIs	Equipamentos de proteção individual
LABATS	Laboratório de aspersão térmica e soldas especiais
LAMATS	Laboratório de Materiais e Tratamentos Superficiais
APS	Arco não transferido (Processo plasma)
PTA	Arco transferido
MO	Microscopia óptica
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
EDS	Espectroscopia de energia dispersiva
DRX	Difração de Raios X
NBR	Norma brasileira
MS	Ministério da saúde
MeV	Megaelectron-volts
W	Watts (intensidade de potência, energia radiante)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 RADIAÇÃO IONIZANTE.....	17
2.1.1 Interação daRadiação eletromagnética com a matéria	18
2.1.2 Radioproteção	21
2.1.3 Blindagem radiológica.....	22
2.1.4 Camada Semi-redutora (HVL).....	23
2.1.5 Atenuação	25
2.2 MATERIAIS.....	28
2.2.1 Barita	28
2.2.2 Chumbo	31
2.2.2.1 <i>Segurança e meio ambiente</i>	33
2.3 METALURGIA DO PÓ	35
2.4 TERMOGRAFIA.....	36
2.5 ASPERSÃO TÉRMICA.....	38
3 JUSTIFICATIVAS.....	44
4 HIPÓTESE.....	44
5 OBJETIVOS	46
5.1 OBJETIVO GERAL	46
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	46
6 MATERIAIS E MÉTODOS.....	47
6.1 ESTUDAR A VIABILIDADE DE PRODUZIR REVESTIMENTO DE PbBaSO ₄ VIA ASPERSÃO TÉRMICA FS.	47
6.1.1 Testes e ensaios preliminares.	47
6.1.2 Preparação dos pós	48
6.1.3 Preparação dos corpos de prova.....	51
6.1.3.1 Aspersão Térmica	52
6.1.4 Caracterização inicial (primeira etapa)	54
6.1.4.1 Embutimento	54
6.1.4.2 Microscopia óptica	55
6.1.4.3 Difração de raios X	56
6.1.4.4 Microscopia eletrônica de varredura	57
6.1.4.5 Espectroscopia por dispersão de energia	57

6.2 OTIMIZAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	57
6.2.1 Preparação final dos pós (segunda etapa)	59
6.2.2 Preparação final dos corpos de prova (segunda etapa).....	61
6.2.2.1 Deposição das misturas PbBaSO ₄ via aspersão térmica chama a pó	61
6.3 CARACTERIZAÇÃO DOS PÓS	64
6.3.1 Microscopia óptica (segunda etapa)	64
6.3.2 Difração dos raios X (segunda etapa).....	64
6.3.3 Microscopia eletrônica de varredura (etapa final)	65
6.3.4 Espectroscopia de energia dispersiva	66
6.4 CARACTERIZAÇÃO QUANTO SUAS PROPRIEDADES DE ATENUAÇÃO.....	66
6.4.1 Testes de Raios X (Atenuação)	66
6.4.2 Espessuras das amostras.....	67
6.4.3 Análises de imagens	68
6.5 ANÁLISES POR TERMOGRAFIA	72
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
7.1 CARACTERIZAÇÕES PRELIMINARES	74
7.1.1 Microscopia óptica (preliminar)	74
7.1.2 Microscopia eletrônica de varredura (preliminar).....	76
7.1.3 Espectroscopia dispersiva (preliminar)	77
7.1.4 Difração de raios X (preliminar)	79
7.2 RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA DAS CARACTERIZAÇÕES	81
7.2.1 Difractometria de raios X.....	81
7.2.2 Microscopia eletrônica de varredura	86
7.2.3 Espectroscopia de energia dispersiva	89
7.2.4 Caracterização quanto as propriedades de atenuação.....	94
7.3 ANÁLISES PARA PELA TECNOLOGIA DE TERMOGRAFIA	98
8 CONCLUSÕES.....	101
9 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	102
REFERÊNCIAS	103
APÊNDICE 1 – Sistema de Análises Térmicas.....	113
APÊNDICE 2 – Especificação de Produto Acabado	114
APÊNDICE 3 – Resultados de Análise Granulométrica	115

1 INTRODUÇÃO

Os princípios fundamentais de Proteção Radiológica são regras destinadas a garantir a segurança em área de radiação para indivíduos ocupacionalmente expostos.

As recomendações da Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICPR), (COMISSÃO INTERNACIONAL DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA, 1977,1990), servem como base para normas de proteção radiológica utilizadas no Brasil. A portaria federal número 453 de primeiro de junho de 1998, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (ANVISA), estabelece as diretrizes básicas de Proteção Radiológica em Radiodiagnóstico Médico e Odontológico e dispõe sobre o uso das técnicas de Raios-X em todo território nacional. (BRASIL. Anvisa 1998, pg. 3). A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), norma 3.01 dita os princípios básicos de proteção radiológica: Justificação, otimização e limitação de doses de radiação, para todos os setores. As normas da CNEN e ANVISA, orientam os responsáveis pelo uso e controle de fontes de radiação.

Em ambientes onde se utilizam radiações ionizantes, métodos de blindagem são fundamentais para a proteção das pessoas que circulam em ambientes próximos das fontes. Atualmente são utilizadas placas de chumbo no meio da construção das paredes ou argamassa baritada, entretanto, quando há necessidade de demolição das paredes, o assunto torna-se bastante complexo, o que impossibilita o serviço no local, por um período longo. Este trabalho busca uma alternativa que possibilite menor custo e praticidade, utilizando técnicas de aspersão térmica com material em pó para blindagem nas estruturas desses locais mencionados. Além do revestimento em paredes de grandes ambientes, esta cobertura em azulejos, poderia ser também utilizada em estruturas móveis, como os biombo em salas de cirurgia, por exemplo.

Um projeto efetivado com técnicas de Aspersão Térmica, utilizando a mistura de pó de chumbo e pó de barita para radioproteção, pode ser viável, com custo relativamente baixo, levando em conta a praticidade e os benefícios atingidos com o revestimento.

Além da praticidade adquirida com este método, outro objetivo do trabalho, é também proporcionar a reciclagem de resíduos de chumbo para a mistura dos materiais, já que é possível reutilizar o chumbo de baterias, pilhas, e outros objetos feitos do mesmo. A contaminação do meio ambiente por materiais tóxicos, como é o caso do chumbo e a logística do descarte, é um assunto de extrema importância, e estes materiais, como baterias e afins, poderiam ser transformados em pó e reutilizados para confecção de revestimento para azulejos de cerâmica com a intenção de blindar e assim proteger os indivíduos das radiações

ionizantes. A união da barita misturada com o chumbo ajuda na minimização da contaminação do chumbo no meio ambiente. Finalmente, é importante ressaltar que a deposição, por meio da aspersão térmica, do chumbo com barita, permitiu um revestimento eficaz nos azulejos cerâmicos com resultados do ensaio de atenuação demonstrando que este melhora a absorção dos raios X em materiais cerâmicos, portanto, recomendado como barreiras de proteção e blindagens contra radiações ionizantes (raios X) em ambientes hospitalares, odontológicos e industriais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Na expectativa da inovação, pesquisadores estão em constante busca de maneiras e práticas funcionais com resultados de qualidade, que objetivem melhorias nos materiais utilizados em várias áreas. É necessária a compreensão de novos materiais, cuja pesquisa volta-se para as áreas de engenharia e proteção radiológica (radioproteção). Para a realização de um estudo que tem como objetivo um revestimento para a proteção radiológica, é necessário ter algum conhecimento da literatura na área de física das radiações, para que se possa compreender o trabalho como um todo, além de um estudo profundo na Engenharia dos materiais, dentro da Engenharia mecânica.

A radioproteção é uma área dedicada exclusivamente à proteção dos indivíduos contra possíveis efeitos biológicos indesejados provenientes da exposição de radiações ionizantes, seja na área médica, odontológica ou na indústria, por outro lado a engenharia é o estudo e a aplicação dos vários ramos da tecnologia, e a união das áreas proporciona avanços científicos e tecnológicos.

O estudo está alinhado com uma nova tecnologia para proteção radiológica, com materiais na forma de pó, aplicados em cerâmica crua pelo processo de aspersão térmica, na intenção de avaliar suas propriedades físicas, mecânicas e de atenuação, faz-se necessário uma abrangência maior de conhecimentos para o desenvolvimento da tese, tornando-se necessário um estudo conceitual mais profundo, seguindo como base a introdução teórica dos ingredientes estudados.

Já se conhece o Pb como um material excelente para blindar radiação ionizante, é empregado em forma de lâminas dentro das paredes, como proteção radiológica em hospitais, clínicas e ambientes onde é necessário sua utilização para barrar radiação (RUSSELL, 1994). O sulfato de bário (barita) é por vezes utilizado em blindagens, no formato de argamassa, também em exames médicos contrastados, (no formato líquido (ingerido) de raios X, em investigação de estômago, esôfago e intestinos (DI BELLO et al., 2003), é insolúvel em água e em gordura. Apesar de conter Ba, um metal pesado, a BaSO_4 não é considerada tóxica devido à sua elevada insolubilidade. Neste estudo, a barita e o chumbo se envolvem formando um revestimento, o qual será detalhadamente estudado nesta pesquisa.

2.1 RADIAÇÃO IONIZANTE

Radiação é uma energia que se propaga em qualquer meio por uma fonte de emissão, é uma energia que se encontra em forma de partícula atômica ou subatômica, tais como partículas alfa, elétrons, pósitrons, prótons, nêutrons etc. Podem ser produzidas por reatores, aceleradores de partículas, por exemplo. Os elétrons, pósitrons e partículas alfa, podem ser produzidas espontaneamente por núcleos dos átomos radioativos (OKUNO, 2013).

A radiação ionizante é capaz de arrancar um elétron do átomo ocasionando um processo chamado ionização. É formado neste processo um par de íons, negativo (elétron ejetado) e positivo (átomo que perdeu o elétron). Os elétrons estão ligados aos átomos pelas forças elétricas de valores distintos, dependendo da sua localização na eletrosfera. Estando mais próximo do núcleo positivamente carregado, sua força de ligação será maior. A radiação ionizante pode arrancar qualquer elétron de um átomo se tiver energia maior que a de ligação entre eles (OKUNO, YOSHIMURA, 2010).

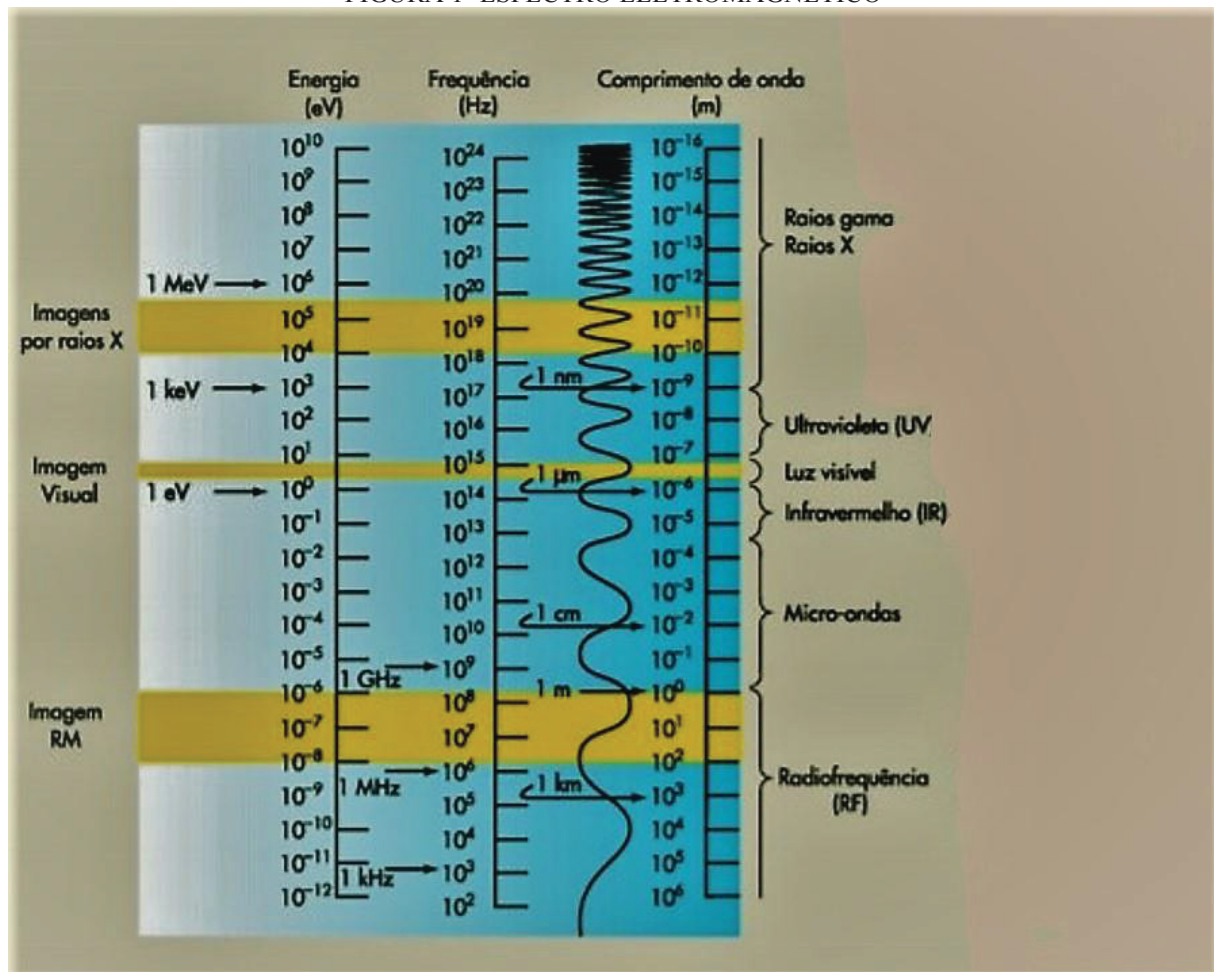
A energia mínima peculiar da radiação ionizante considerada em radio-biologia é de cerca de 10eV, no vácuo, para átomos de hidrogênio, oxigênio, carbono e nitrogênio, principais átomos que constituem o corpo humano. (OKUNO, 2013; KNOLL, 1999). Radiação ionizante pode danificar células e afetar o material genético (DNA), causando lesões graves como o câncer, por exemplo, podendo levar a morte (KNOLL, 1999).

Todas as radiações eletromagnéticas (EM), independentemente de sua frequência, se transmitem a velocidade da luz, no vácuo, sem a necessidade de um meio físico de propagação. Apesar de características comuns, existem diferenças fundamentais entre os distintos tipos de radiações EM segundo sua localização no espectro, que abrange um alcance enormemente amplo de frequências (DE LA PEÑA et al., 2002).

A FIGURA 1 demonstra o espectro eletromagnético, que se estabelece por arranjo contínuo da energia eletromagnética em função do comprimento de onda ou da frequência. As ondas eletromagnéticas são aquelas resultantes da emancipação das fontes de energia elétrica e magnética agrupadas.

Quando se movimenta rapidamente, com a velocidade da luz, a energia liberada apresenta o aspecto de onda. Por esse fato, adquire o nome de onda eletromagnética. Quanto menor o comprimento de onda, maior será sua energia eletromagnética. Dentro do espectro eletromagnético existe uma pequena parte onde a luz é visível, parte esta que se localiza entre as regiões ultravioleta e infravermelho (MORAES, 2002).

FIGURA 1- ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO



FONTE: Adaptado de Bushong (2010)

2.1.1 Interação da Radiação eletromagnética com a matéria

Tauhata et al. (2014), afirmam que as radiações eletromagnéticas (raios X e raios gama) podem penetrar em um material atravessando grandes espessuras antes de sofrer alguma interação, devido ao seu caráter ondulatório, ausência de carga e massa de repouso, isto depende da probabilidade de choque na interação e cada tipo de evento podendo absorver ou espalhar a radiação incidente. A qualidade da penetração dos raios X e gama e a probabilidade de interação depende do valor de sua energia. Quando a energia dos fótons é maior que o valor da energia de ligação dos nucleons (aproximadamente 8,5 megaelectronvolts (MeV)) é provável que ocorram reações nucleares.

Os meios mais comuns de interações (sem contar com as reações nucleares) são os efeitos fotoelétrico, Compton e a produção de pares.

No efeito fotoelétrico, um fóton interage com um elétron orbital ligado fortemente ao átomo, sendo ejetado e chamado de fotoelétron. Dá-se esse nome porque é um elétron com energia de fóton, pois a energia do fóton incidente é transferida para o elétron ejetado no momento de sua interação, e para que isto ocorra, o fóton incidente deve ter a energia maior do que a energia de ligação do elétron ejetado com o átomo, com uma energia cinética (EC) demonstrada na Equação 1:

$$EC = h\nu - E_e \quad (1)$$

Onde,

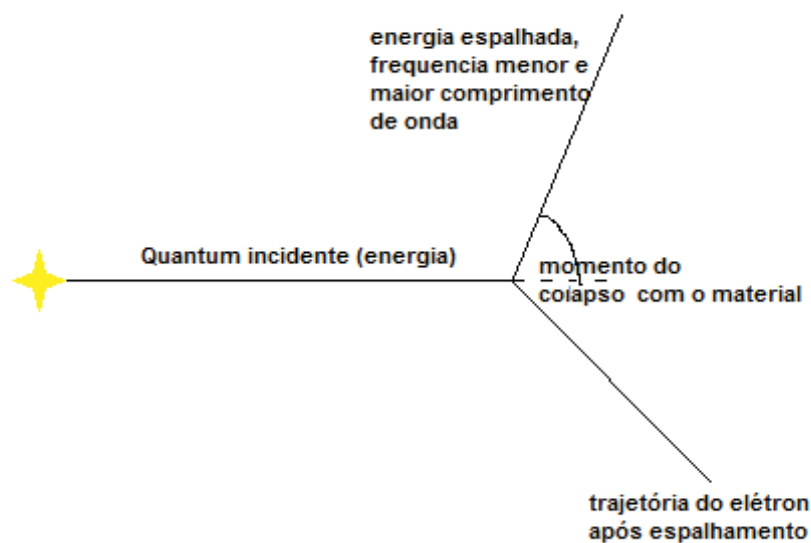
$h\nu$ é a energia do fóton incidente e E_e é a energia de ligação do elétron. (BERRY, 1970; PODGORSK, 2005).

O efeito Compton ou também chamado de espalhamento Compton retrata a incidência de um fóton que ao interagir com um elétron orbital de baixa energia, doa a esse elétron parte de sua energia enquanto o ejetar de sua camada, no momento da interação o fóton é espalhado seguindo outra trajetória, este ocorre com diminuição de energia, (aumentando o comprimento de onda) de um fóton de raios X ou de raios gama, quando este interage com o material (SILVA; FREIRE JR. 2014).

No espalhamento Compton, apresentado na FIGURA 2, o fóton que interage com os elétrons são considerados livres. Todos os materiais, através do espalhamento Compton, devem absorver a mesma quantidade de energia por cada elétron, independente do número atômico. Praticamente todos os materiais exibem o mesmo número de elétrons, por unidade de massa, isso leva a todos apresentarem o mesmo coeficiente de atenuação de massa para o espalhamento Compton (JONHS & CUNNINGHAM, 1974; KNOLL, 1989).

Por meio da FIGURA 2, pôde-se perceber a interação do fóton incidente com o elétron, demonstrando nos raios X espalhados o aumento do comprimento de onda, diminuindo a energia e demonstra a trajetória do elétron após o espalhamento.

FIGURA 2 -EFEITO COMPTOM

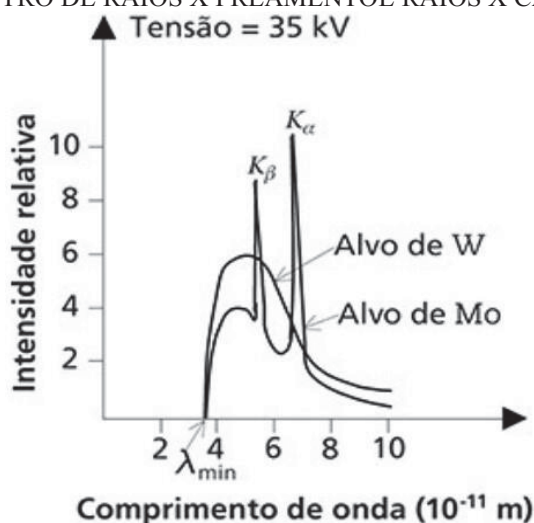


FONTE: Adaptado de Silva & Freire Jr. 2014.

Uma das formas de absorção da radiação eletromagnética de energia alta é a produção de pares, que ocorre quando fótons de energia bastante alta, superior a 1022 MeV, passam próximo a núcleos interagindo com o campo elétrico nuclear, a radiação desaparece dando origem a um par de elétron-pósitron (TAUHATA et al., 2014).

Declaram, ainda, Tauhata et al. (2014), que na produção de raios X ocorrem também raios X característicos referentes ao material com o qual a radiação está interagindo (alvo ou anodo), quando o elétron é retirado da eletrosfera, forma-se uma vacância na camada orbital, que logo é preenchida por algum elétron de outra camada superior, neste momento o excesso de energia do elétron é liberado mediante uma radiação eletromagnética, essa energia é igual a diferença de energia entre o estado inicial e o estado final do processo. Os raios X característicos unem-se ao espectro de raios X de frenamento (bremsstrahlung) quando interagem com a matéria e aparecem com picos destacados, conforme mostra a FIGURA 3 (Espectro de raios X de frenamento com raios X característicos).

FIGURA 3- ESPECTRO DE RAIOS X FREEMANTOE RAIOS X CARACTERÍSTICOS



FONTE: Okuno, Yoshimura (2010).

No esclarecimento de alguns dos efeitos que ocorrem durante a interação da radiação com a matéria, pode-se observar a TABELA 1 com algumas interações possíveis de ocorrer (YOSHIMURA; 2009).

TABELA 1- INTERAÇÕES POSSÍVEIS DE OCORRER PARA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA IONIZANTE

Interação, símbolo da Colisão	Mudanças no meio	Mudanças na radiação incidente	Radiação ionizante produzida
Espalhamento coerente- σ (espalhamento da radiação pelo átomo)		Direção de propagação (mantem energia)	Radiação eletromagnética espalhada de mesma energia
Fotoelétrico- τ (Ejeção do elétron ligado)	Ionização e excitação do átomo, recuo do núcleo	Fóton é absorvido	Elétron rápido, raios X característicos, elétrons Auger
Compton- σ (espalhamento do fóton por um elétron)	Ionização do átomo	Fóton perde energia e muda de direção	Elétron rápido, fóton com menor energia, espalhado
Produção de par- κ (energia do fóton é consumida na criação do par)	Recuo do núcleo: aniquilação do pósitron	Fóton é absorvido	Elétron e pósitron rápidos, raios X de aniquilação
Reação fotonuclear (ejeção de nucleon ligado)		Fóton é absorvido	Partículas subnucleares, em geral nêutrons.

FONTE: Adaptado de Yoshimura, 2009.

2.1.2 Radiproteção

Em proteção radiológica encontram-se alguns princípios básicos que estabelecem condições que são necessárias para que as operações que utilizam radiações ionizantes sejam benéficas a sociedade, ou seja, que seu uso seja importante de tal maneira que seu emprego seja adequado para que satisfaça a intenção e que seja tão mais benéfico do que maléfico para o usuário. As normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CENEN) de diretrizes básicas de radioproteção (NR-3.01) que apesar de indicarem valores de limitação da dose, estabelecem o princípio fundamental chamado de ALARA, um princípio que justifica, otimiza e limita a dose de radiação nos indivíduos, fazendo parte de documentos nos quais são estabelecidos conceitos atuais de proteção radiológica (SEARES e FERREIRA (2002)).

Princípio da justificação dita que em lugares onde há exposição à radiação ionizante deve-se justificar, levando-se em conta seus benefícios ao mesmo tempo que deve-se manter o menor nível possível de radiação ionizante no local. Em toda exposição à radiação ionizante a dose deve ser limitada no indivíduo e a radiação deve ser a mínima possível; é o que preconiza o princípio da otimização, melhorando a imagem e reduzindo a dose desta radiação. As doses de radiação ionizante não podem ultrapassar aos limites estabelecidos pelas normas de radioproteção de cada país, que é de 50 mSv/ano para trabalhadores da área e de 1mSv/ano para o público em geral. O princípio da limitação da dose não se aplica aos pacientes, pois é considerado que possíveis danos causados pela radiação é ultrapassado pelos benefícios que é proporcionado (SEARES e FERREIRA 2002).

2.1.3 Blindagem radiológica

O cálculo de barreiras tem um processo histórico de evolução no que diz respeito a sua utilização em instalações de radiologia, foi publicado por Archer em 1995 (ARCHER,1995)

Salas de Raio X requerem blindagem de chumbo ou similar em concreto (barita), nas paredes, tetos e pisos, sendo o concreto considerado blindagem, sua espessura depende de alguns fatores como, distancia da fonte, geometria do feixe, tipo de ocupação, em cima ou embaixo da sala, por exemplo. O chumbo possui densidade 11,35 g/cm³, o concreto de 2,2 g/cm³ e tem-se optado pelo uso de massa baritada por ter menor custo (SEARES e FERREIRA 2002).

Curvas de transmissão ponderadas pela carga de trabalho local são obtidas para materiais absorvedores de chumbo e concreto. O ajuste é feito segundo modelo de Archer.

O Modelo de Archer 1983, propõe a seguinte equação paramétrica(2) para representar a passagem por uma espessura X de um material sujeito a um feixe de radiação X :

$$B^m(V, x) = \frac{K^m(V, x)}{K_0(V)} = \left[\left(1 + \frac{\beta^m(V)}{\alpha^m(V)} \right) e^{\alpha^m(V) \gamma^m(V) x} - \frac{\beta^m(V)}{\alpha^m(V)} \right]^{-\frac{1}{\gamma^m(V)}} \quad (2)$$

Onde,

$K(V, x)$ é o kerma (acrônimo de energia cinética liberada) no ar por unidade de carga (mA. min) por semana a 1 metro da fonte de radiação, transmitido pela espessura qualquer do material m, obtida aplicando-se um potencial V ao tubo; $K_0(V)$ é o valor de $K(V, x)$ sem que nenhum material atenuador intercepte o feixe e $\alpha(V)$, $\beta(V)$ e $\gamma(V)$ são parâmetros determinados utilizando-se um método não-linear de mínimos quadrados.

A metodologia demonstrou ser extremamente útil para cálculos de blindagens e, após muitos estudos para sua validação, tornou-se a base matemática para o NCRP 147. A aplicação do Modelo de Archer para Cálculos de Barreiras depende muito do comportamento da atenuação à radiação, dos materiais utilizados como blindagens estruturais (COSTA e YOSHIMURA, 2011). Além disso, o modelo também foi adotado para a proteção quando se tratava de medicamentos radioativos, esses utilizados para exames de medicina nuclear (Kusano e Caldwell, 2014).

Quanto maior for a espessura de um material, maior será a quantidade de radiação absorvida. A intensidade de radiação que emerge do lado oposto a barreira nunca é completamente subtraída, mesmo que a espessura seja muito grande. Como a absorção obedece a uma lei exponencial, a intensidade diminui, porém nunca zera integralmente (ANDREUCCI, 2016).

2.1.4 Camada Semi-redutora (HVL)

A medida do poder de penetração em um material é dada pela qualidade de um feixe de raio X e é expressa em termos da camada semi-redutora ou da sua energia.

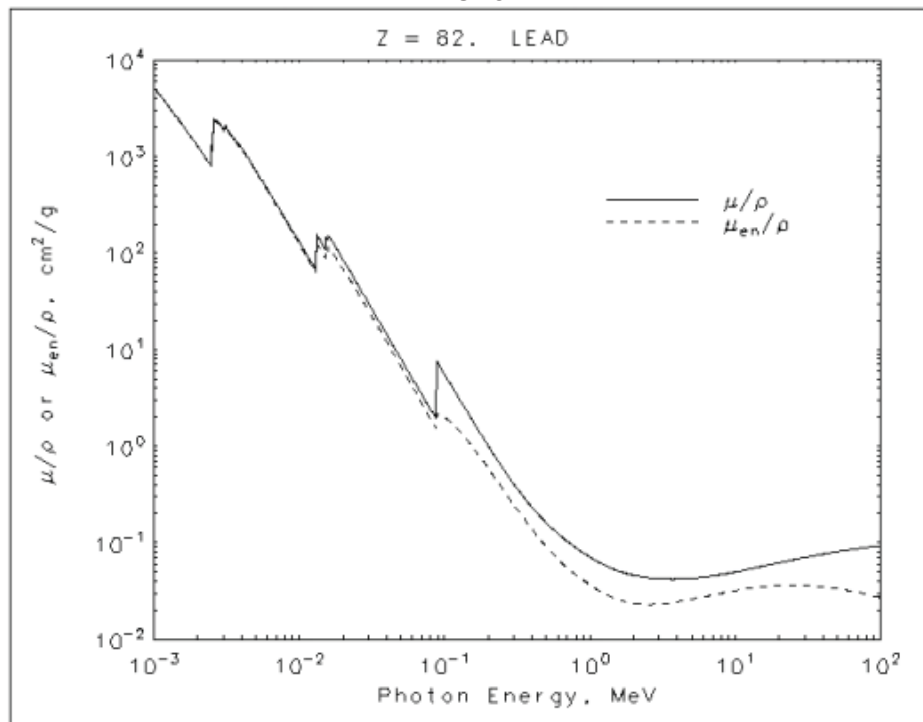
A qualidade dos feixes são também determinados pelo coeficiente de homogeneidade, energia efetiva e pela distribuição espectral das energias dos fótons do feixe (BARROS, 2009).

Quando ocorre atenuações em que o fóton incidente penetra no material absorvente com diferentes energias e trajetórias, percebe-se que ocorreu um espalhamento, deste modo, o

fóton incidente sofre interação com os átomos do absorvente, sofrendo desvio de sua trajetória, sendo espalhado no meio.

O coeficiente de atenuação, no caso do chumbo, e.g., é que determina a camada semi-redutora de blindagens, usadas para proteção radiológica, como é apresentado o exemplo do gráfico na FIGURA 4, mostrando dados experimentais de Andrichetto e Lüdke, 2014, sobre o coeficiente de absorção do chumbo por unidade de massa (μ/p).

FIGURA 4- COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO DO CHUMBO DETERMINANDO CAMADA SEMI-REDUTORA



FONTE: Andrichetto; Lüdke, 2014.

A HVL age como filtro atenuador de feixes de radiação de forma que a intensidade da energia seja reduzida à metade do seu valor do início (KHAN, 1994). Uma forma de se quantificar a penetração de um feixe produzido é com a medida da camada semi-redutora, a mesma é definida como a espessura do material absorvedor, ou atenuante, a qual é necessária para ir reduzindo a intensidade do feixe de raios X, i.e., nas condições de boa geometria os feixes são reduzidos a 50% daquele valor inicial (MARCO A. DE S. LACERDA, 2007).

1. 2.1.5 Atenuação

Quando ocorre a penetração de um feixe de raios X em um material, os seus fótons interagem com os átomos de várias maneiras. Essas interações podem ser afetadas, como por exemplo, a espessura, o número atômico do material e também a energia do fóton incidente (EVANS, 1982).

Quando um feixe de raios X ou gama interage com um material de espessura x , parte do feixe é espalhada, parte dele é absorvida e uma pequena fração atravessa o material sem que haja interação (TAUHATA et al., 2003).

A intensidade das radiações diminuem quando as interações ocorrem com o material absorvedor. A atenuação da energia das radiações ocorre de maneira exponencial respeitando a densidade do material. Quanto mais espesso é o material, menor será a energia da radiação que passa pelo material após a travessia. Quanto maior a energia dos fótons da radiação incidente, maior será também a sua capacidade de penetração, no entanto a probabilidade das interações acontecerem também aumentam. Um feixe de raios X é mesclado com fótons de diferentes energias, estas podem ser de alta ou baixa energia. Quando são compostas de baixa energia, são absorvidas pelo material, e com altas energias o atravessam. Assim, teremos um feixe composto por fótons de maior energia e, portanto, altamente penetrantes. Esse sistema é também chamado de endurecimento do feixe.

A radiação dissemina-se por uma distância maior e assim, interage mais. A atenuação dos fótons, ou radiação, é bem representada pela equação:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (3)$$

Onde,

I_0 é a intensidade da radiação incidente, I é a intensidade da radiação que emerge do material, x é a espessura do material absorvedor e μ é o coeficiente de atenuação linear total e tem relação com a probabilidade da absorção dos fótons.

A radiação X ou gama pode ter a sua intensidade significativamente reduzida quando um absorvedor com densidade alta está colocado entre uma fonte de radiação e um detector. É necessário, no entanto, que a atenuação seja feita sob boas condições de geometria, i.e., com um feixe bem colimado e estreito. Quando não ocorre uma boa condição geométrica, os feixes

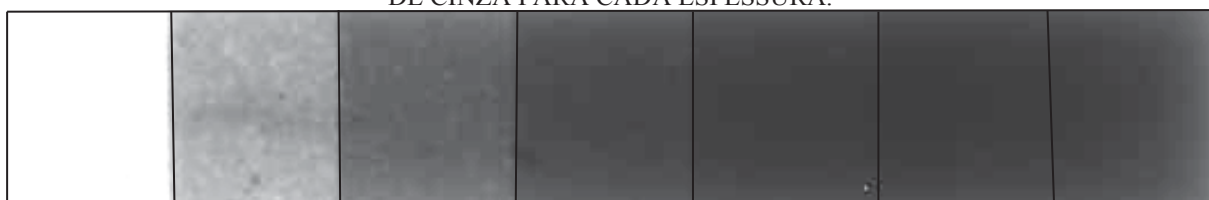
tornam-se espalhados e alteram o comportamento exponencial da atenuação do feixe, atingindo o detector como radiação secundária. O coeficiente de atenuação total (μ) depende do material atenuador e da energia do feixe incidente (CEMBER, 1996).

Segundo Barros (2009) pode-se obter as curvas de atenuação pela leitura das imagens radiográficas dos materiais. As imagens, representadas por meio de valores médios de níveis de cinza, o valor máximo sem atenuação, i.e., imagem branca, para imagens de 16 bits, é de 65536 pixels e o zero representa a cor preta. Quanto maior o número de zeros, maior será a atenuação do material.

Um exemplo interessante sobre atenuação de argamassa baritada, está relacionado com imagens de filmes radiográficos, representadas em tons de cinza, com a variação das tonalidades de cinza obtidas na imagem radiográfica. Quanto mais escura é a imagem radiográfica, maior poder de atenuação ela apresenta em relação a intensidade de radiação. É possível obter a análise da atenuação da argamassa baritada a partir da análise visual das imagens radiográficas para as várias espessuras. As imagens são transformadas em números de pixels, representados por meio de valores médios de níveis de cinza.

Pelo estudo das imagens quantifica-se a energia de radiação que atravessa o material possibilitando o estabelecimento de uma relação do coeficiente de atenuação com a espessura do material. Pode-se visualizar o exemplo de uma argamassa baritada avaliada a 100 kV- 1mAs, na FIGURA 5. As imagens das amostras foram obtidas pelo método de radiografia digital em laboratório de Radiografia e Tomografia Industrial no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC/Curitiba (BARROS, 2009). A atenuação dos fótons, ou radiação, é bem representada pela Equação 3.

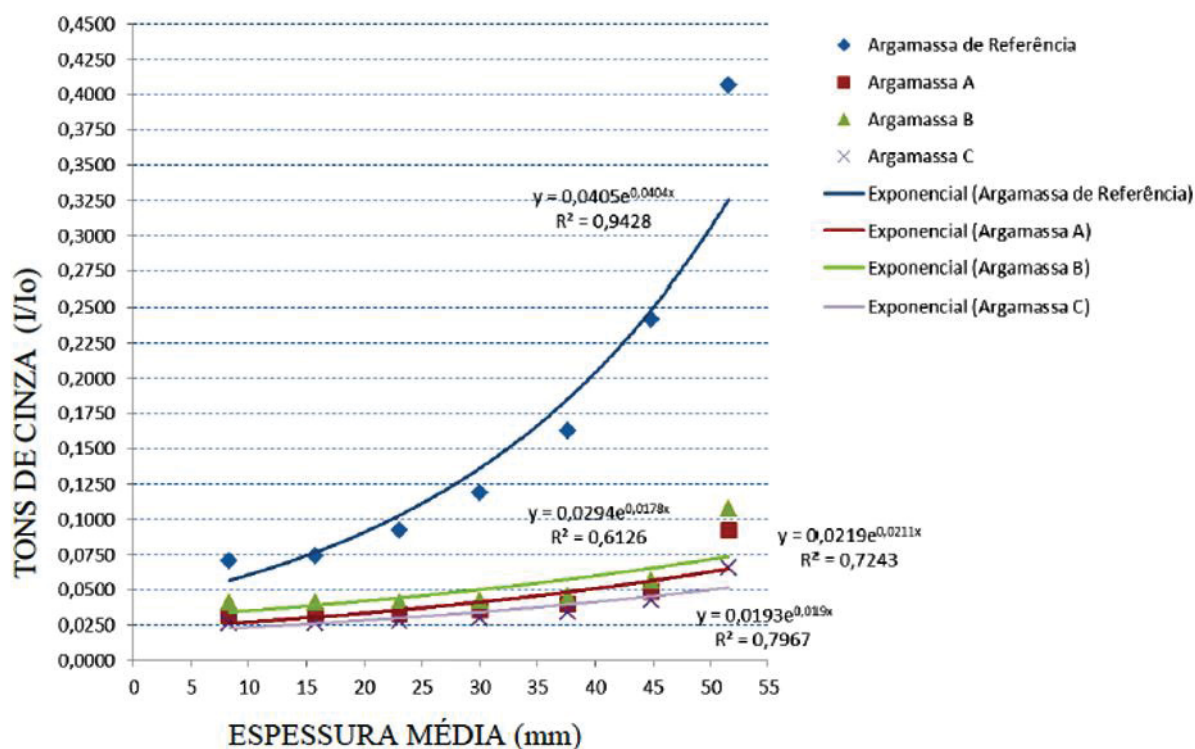
FIGURA 5 - IMAGENS RADIOGRÁFICAS MOSTRANDO A DIFERENÇA DE INTENSIDADE DE TONS DE CINZA PARA CADA ESPESSURA.



FONTE: BARROS, 2009.

O exemplo de Curvas de atenuação das argamassas em função das imagens radiográficas (100kV – 1mAs), é demonstrado na Figura 6.

FIGURA 6- CURVAS DE ATENUAÇÃO EM FUNÇÃO DA ESPESSURA



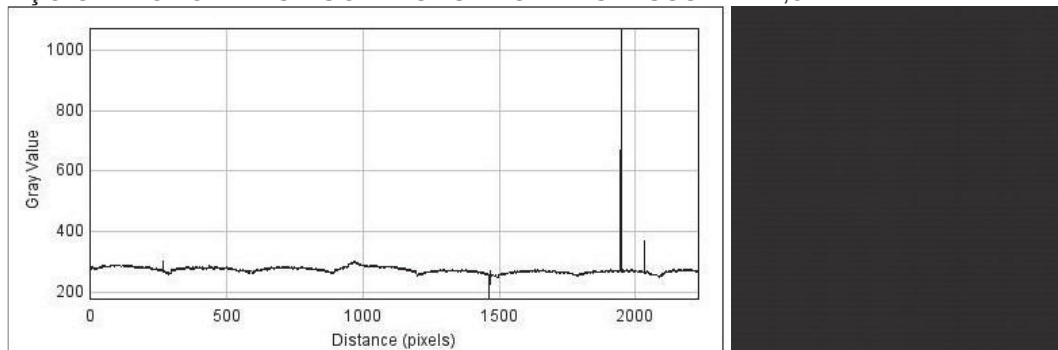
FONTE: BARROS (2015).

Este exemplo das curvas, relacionado ao trabalho de atenuação por argamassa baritada, de Barros, 2015, ilustra perfeitamente o formato exponencial das curvas de atenuação de raios X em função da espessura.

Segundo Barros (2009), foi realizado um revestimento por AT com o resíduo de chumbo (RC) sobre a superfície de aço carbono, as tonalidades de cinza chegam bastante próximas da cor preta, devido à associação do aço carbono com o substrato e a aspersão das partículas do resíduo de chumbo, que forma uma camada uniforme. Na FIGURA 7 ilustra-se as curvas com o filme na cor preta, representando ótimo poder de atenuação em relação à intensidade de radiação, demonstrando o perfil de tons de cinza, com placas de aço carbono revestidas com rc, em função de sua espessura, energia de (70 kv – 1 ma).

FIGURA 7 - IMAGENS RADIOGRÁFICAS E PERFIL DE TONS DE CINZA

AÇO CARBONO + RESIDUO DE CHUMBO ESPESSURA = 1,84 mm



FONTE: BARROS (2009).

Coefficientes de atenuação são obtidos por metodologias e seguem recomendações da NCRP 147 (2004) e da norma ABNT NBR/IEC61331-1(2004). Os coeficientes podem ser calculados e representados na forma de curvas de atenuação, por meio do programa Xcom (2008), desenvolvido pelo NIST (*National Institute of Standards Technology*). Os valores dos coeficientes de atenuação para os materiais são conquistados, levando-se em consideração a energia do feixe da radiação e a organização química de um material ou conjunto de vários materiais, chamados de compósitos (BARROS, 2009).

2.2 MATERIAIS

2.2.1 Barita

Barita (sulfato de bário) é um mineral não metálico cuja fórmula química é BaSO_4 . O seu nome se origina do grego *barus* (pesado). Algumas de suas características principais são: ser um material inerte, não tóxico e ter seu peso específico alto, que pode chegar a 4.5 g/cm^3 , seu ponto de fusão é 1580°C e seu ponto de ebulição é de 1600°C . É o principal mineral do bário, em reservas, produção, utilização e na obtenção do Ba.

Tem dureza Vickers 3 na escala de Mohs, suas cores são incolor, branco, amarelo, marrom, cinza, azul, etc. Seu sistema de cristal é ortorrômbico, na morfologia normalmente são encontrados como grossos a finos cristais tabulares, geralmente em aglomerados com os cristais crescendo paralelos uns aos outros, tenacidade frágil, fratura irregular/desigual, sistema de cristal: ortorrômbico, número atômico (Z) 4, classe dipirâmida (mindat.org, 2019).

Nas Figuras 8 e 9, a seguir, são demonstradas duas variedades da espécie mineral sulfato de bário:

FIGURA 8- ELEMENTO QUÍMICO SO_4Ba : SULFATO, BARITINA (BARITA) VERDE



FONTE: Laboratório Geotec virtual > banco de dados de geologia

FIGURA 9- ELEMENTO QUÍMICO SO_2Ba : SULFATO BARITINA (BARITA) BRANCA



FONTE: Laboratório geotec virtual > banco de dados de GEOLOGIA

O sulfato de bário não é solúvel em água, sendo assim um material não tóxico, grande quantidade de compostos de bário são usados para muitas finalidades importantes, é um minério empregado em vários segmentos da indústria, muito utilizado nas manufaturas de petróleo, perfurações de rochas, mantendo a broca lubrificada. Também é usado para fazer borrachas, vidros, tijolos entre outros compostos de bário (ATSDR, 2007).

A barita, que é retirada do mineral bário, existe num estado combinado com outros elementos, ela é chamada de sulfato de bário, muito utilizada em exames médicos contrastados de raios X, na investigação de estômago, esôfago e intestinos. Os compostos de bário, acetato de bário, cloreto de bário, cianeto de bário, hidróxido de bário e de óxido de bário são muito solúveis em água, sendo assim tóxicos (DI BELLO et al., 2003).

Durante fase de edificação de serviço de radiodiagnóstico, são utilizados materiais para blindagens, no intuito de proteger o ambiente e as pessoas, das radiações ionizantes. Barreiras protetoras com chumbo, concreto e barita são utilizados na construção de paredes, no entanto, a argamassa de barita (material composto por cimento, areia, água e sulfato de bário) é a mais utilizada pois apresenta algumas vantagens, como por exemplo: alta eficiência pelos materiais atenuadores, fácil aplicação, encontrada facilmente no mercado nacional e o custo é baixo (ALMEIDA JUNIOR, 2014).

Segundo Almeida Junior et al. (2013), a barita tem sido bastante utilizada na proteção radiológica, nos espaços onde há fontes de radiação. Além de proteção, nos casos de raios X, o material é também empregado na blindagem de raios gama, cuja energia é bem maior do que a dos raios X.

Com o tema de argamassa baritada, há alguns trabalhos interessantes, os pesquisadores Paulo R. Costa e Elisabeth M. Yoshimura (2011), produziram um trabalho com cinco argamassas baritadas, seguindo os moldes da NCRP 147, baseado no modelo de Archer (Equação 2 deste trabalho), as quais foram realizadas por meio de curvas de transmissão resultantes, cuja utilização foi conferida pelas estimativas das espessuras de argamassa que eram necessárias para a correta proteção de áreas externas de salas radiológicas.

Quando se trata de proteção radiológica existe uma regra que toda e qualquer instalação radiológica deve obedecer, são regulamentos e normas de radioproteção fixadas pela norma brasileira (NBR) 453 do ministério da saúde (MS, 1998).

Para proteger a população exposta à radiação ionizante a taxa de exposição em locais públicos ou de trabalho deve ser menor do que a taxa máxima de dose permitida. Os métodos de atenuação de radiação dependem da energia e do tipo de radiação na exposição e segundo pesquisadores citados acima a barita é um ótimo elemento para atenuação no caso de radiação ionizante.

2.2.2 Chumbo

O material chumbo (Plumbum) é um elemento químico de símbolo Pb, um metal encontrado na natureza na forma de compostos minerais, como o sulfeto de chumbo. Dúctil, maleável, trabalhável a frio, pouco condutor de eletricidade, aceitável condutor de calor, possui condutividade térmica de $0,83 \text{ cal/cm}^3/\text{cm}/^\circ\text{C}/\text{S}$ a 0°C e $0,81 \text{ cal/cm}^3/\text{cm}/^\circ\text{C}/\text{S}$ a 100°C , coeficiente de expansão térmica linear de $29,10 \cdot 10^{-5}$ a 1°C e aumento em volume (de 20°C ao ponto de fusão) de 6,1 %. Peso específico de $0,0113 \text{ g/cm}^3$, massa específica do sólido $0,011 \text{ g/cm}^3$, baixo ponto de fusão (327°C), peso atômico 207,2 e ponto de ebulição de 1717°C , emitindo, antes desta temperatura, vapores tóxicos. Apresenta retração linear na solidificação de 1 a 2,5% e alongamento de 31%. Ponto de fusão do chumbo é 327°C . (ROCHA, 1973). O número atômico do Pb é de 82 (82 prótons e 82 elétrons), com massa atômica igual a 207,2 unidade de massa atômica (u.m.a), pertencente ao grupo 14 da classificação periódica dos elementos químicos.

O chumbo encontra-se no estado sólido quando à temperatura ambiente, é um metal pesado, macio, maleável e tóxico, revela uma coloração branco meio azulada e quando está exposto ao ar torna-se amarelado. Elemento muito utilizado na construção civil, também em baterias de ácido, em munição, é utilizado vastamente na proteção contra raios X, gama, alfa, beta, em clínicas de tratamento e exames médicos e forma parte de ligas metálicas para a produção de soldas entre outros. O chumbo tem o número atômico mais elevado dentre todos os elementos estáveis (RUSSELL, 1994).

O uso do chumbo é conhecido desde a antiguidade e imagina-se que é usado pelos humanos por cerca de sete mil anos, pois é um elemento muito difundido na natureza e possui fácil extração (MAHAN, 2002). Pelo fato de ser um metal dúctil e maleável, favorece seu uso no formato de chapas, sendo simples de ser trabalhado, no entanto o fato de ser flexível acaba resultando em baixa resistência podendo surgir fissuras no material quando submetido a esforços mecânicos, tensão por vibração, resfriamento e dobramentos alterados.

Na natureza, o chumbo é normalmente encontrado junto a outros elementos: A cerusita (carbonato de chumbo - PbCO_3), a anglesita (sulfato de chumbo - PbSO_4), a crocoisita (molibdato de chumbo - PbMoO_4), o litargírio (óxido de chumbo - PbO) e o zarcão (ortoplumbato de chumbo - Pb_3O_4). Combinado com o enxofre, o chumbo ocorre sob a forma de sulfeto PbS (galena) (BARROS, 2009), que é o principal minério de chumbo. A FIGURA 10 demonstra o mineral, denominado Galena.

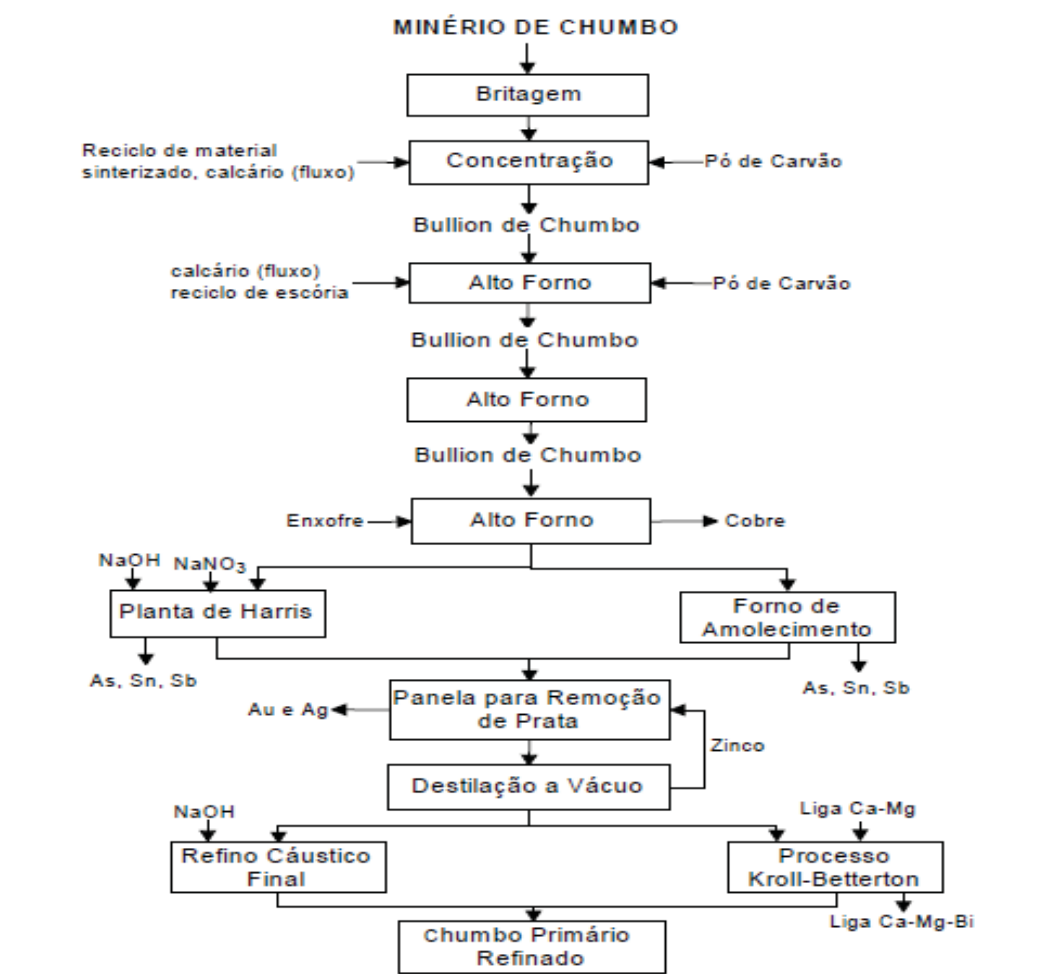
FIGURA 10 - GALENA, MINERAL ONDE O CHUMBO É RETIRADO



FONTE: Brankog / shutterstock.com – acesso em 29/06/2016

É definido como chumbo primário o metal obtido diretamente do refinamento do minério, como a galena (FIGURA 10), cerusita e anglesita, que se encontram naturalmente no envoltório terrestre. Na FIGURA 11 é disposto o resumo de vários processos utilizados na produção primária de chumbo.

FIGURA 11 - PROCESSOS DA PRODUÇÃO PRIMÁRIA DO CHUMBO



FONTE:SOBRAL, 2012

O chumbo pode ser reciclado logo após sua utilização, no formato de liga ou compostos, e o mesmo mantém suas características de chumbo primário, porém classificado como chumbo secundário.

Os principais produtores de chumbo primário são a China, Austrália, EUA, Peru e México. A produção brasileira primária, em 2006, foi de 16 mil toneladas de metal, provenientes da Mina de Morro Agudo, no município de Paracatu, Minas Gerais, que é totalmente exportada (DNPN, 2007).

No procedimento de fundição do chumbo secundário, ocorre emissão do metal em cada etapa. As fundições de chumbo secundário utilizam algumas deliberações para diminuir as emissões de chumbo, tais como:

- Alguns dispositivos de controle;
- Modificações em processos e Equipamentos;
- Isolamento;
- Automação de máquinas e áreas de trabalho;
- Melhoria da ventilação local e geral;
- EPI's.

Algumas empresas brasileiras reciclam o chumbo e estão dentro de um padrão admissível, mas ainda não são suficientes para evitar contaminações (MACHADO, 2002).

A indústria de chumbo secundário tem insumos derivados de produtos contendo metal em sua composição. Algumas das fontes de chumbo secundário são:

- Sucata de chumbo (i.e., sucata de bateria veicular, tubos e chapas de chumbos descartados).
- Escórias de chumbo contendo entre 35 e 90% de chumbo.
- Invólucro de chumbo. Nessa forma foi usado no passado em cabos telefônicos e de energia protegendo fios de cobre (SOBRAL, 2012).

2.2.2.1 Segurança e meio ambiente

Cuidados com a segurança são aspectos fundamentais no uso do chumbo, como

por exemplo, atenção ao meio ambiente e com a saúde de quem manuseia o material. Sabe-se que o chumbo polui a água o ar o solo e assim contamina os organismos vivos, ocorrendo o efeito bio-cumulativo, em toda a cadeia alimentar. As concentrações de chumbo na natureza são muito pequenas, não é um elemento essencial na nutrição.

A absorção por chumbo nos seres vivos ocorre por vias aéreas, oral e cutânea. A absorção do chumbo pode ocorrer por via digestiva quando ingerido erespirátoría (partículas finas e gases). A absorção pela pele só é referida para oacetato de chumbo (MEDITEXT, 1998).

As partículas de chumbo quando passam para o sangue, envolvem duas etapas: a deposição do chumbo no trato respiratório, absorção e envio para a circulação. (AZEVEDO, CHASIN, 2003).

Tannure et al. (2018) definem que, alguns materiais devem ser colocados em locais próprios para o descarte, a prevenção do meio ambiente é muito discutida nos dias de hoje e se faz necessário um cuidado especial, principalmente quando se trata de materiais tóxicos como materiais de radiologia dental, lixos tóxicos e metais como o chumbo e.g., resíduos devem ser descartados em locais apropriados e devidamente reciclados e também reutilizados, se assim for possível. Impactos ambientais podem ter danos irreversíveis caso não haja o devido controle e cuidado, o que se deve a altos níveis de metais, a exemplo do chumbo, e podem simbolizar riscos a saúde de seres humanos, organismos aquáticos e terrestres, devido a contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas. Tannure et al. (2018) ainda afirma que o tratamento de peças de chumbo consiste no descarte em instalações especiais e licenciadas para tal, seguindo as orientações dos órgãos do meio ambiente bem como, o encaminhamento a aterros sanitários industriais para resíduos perigosos e com riscos de contaminação. Todos os materiais que neles contenham chumbo e ou materiais tóxicos, como e.g., metais pesados e com riscos à saúde devem ser descartados nestes locais apropriados.

Mesquita et al. (2015) demonstram, em sua pesquisa, o desenvolvimento de critérios técnicos para a minimização dos riscos para a saúde pública e para o ambiente envolvendo normas de segurança no trabalho e em empresas. Relatam a forma correta de acondicionar o material que será descartado como a colocação em caixas próprias e de acordo com as normas para material de construção civil e a movimentação desses resíduos até o local do correto descarte que deve ser devidamente apropriado de acordo com as devidas normas que no caso da construção civil é a Norma ABNT NBR 15.114 - Resíduos sólidos da construção civil classe a / áreas de reciclagem.

Reciclagem do chumbo, como a reutilização de baterias, balas de munição entre outros pode ser solução para inúmeros problemas que ocorrem no meio ambiente, no entanto é necessário seguir algumas normas.

Para ser aceito, um produto que é feito a partir de material reciclado, deve ter comprovação sobre suas substâncias, se são nocivas e se não prejudicariam o meio ambiente após sua reciclagem. As avaliações devem seguir a norma da ABNT NBR 10004/2004, que adota a seguinte classificação:

Classe I – PERIGOSOS: quando apresentam, em função de suas propriedades físico-químicas ou infecto-contagiosas, risco à saúde pública ou risco ao meio ambiente, quando gerenciados de forma inadequada.

Classe II – NÃO PERIGOSOS: divididos em: Classe IIA – Não Inertes: são aqueles que podem ter propriedade de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Classe IIB – Inertes: são resíduos que, submetidos ao contato dinâmico e estático com a água destilada, na temperatura ambiente, e no extrato solubilizado, não apresentam nenhum de seus constituintes superiores aos padrões de potabilidade da água, exceto aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G, da norma de referência. Para se obter a classificação dos resíduos, faz-se necessário conhecer do que são feitos os materiais, insumos e identificação do processo que deu origem ao resíduo. Deve-se atentar ao impacto com relação à saúde e ao meio ambiente. Estes parâmetros são determinados pelos métodos: ABNT NBR 10005/2004 – Procedimento para obtenção do extrato lixiviado e ABNT NBR 10006/2004 – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado dos resíduos sólidos.

2.3 METALURGIA DO PÓ

Para a preparação de uma mistura homogênea a ser depositada por aspersão térmica do chumbo+barita foi necessário obter uma mistura bimodal com pó de chumbo-barita, para isso foi utilizada a tecnologia da metalurgia de pó.

Para a produção de componentes precisos a metalurgia do pó é uma tecnologia popular utilizada na formação de metais. Vários são os meios para a formação de pós e estes podem ser utilizados para a fabricação de componentes relevantes de setores específicos, na criação de produtos finais com propriedades específicas para cada setor envolvido. Avanços das tecnologias permitem a exploração de uma variedade de materiais e técnicas usadas para a metalurgia do pó (CHANG; ZHAO, 2013).

A metalurgia do pó pode ser dividida em duas etapas: moldagem ou compactação e aquecimento ou sinterização. A compactação ocorre quando há aplicação de pressão nos pós envolvidos, no interior de matrizes cujas concavidade correspondem à forma e dimensões das partículas finais e resulta no denominado compactado (DELFORG et al., 2007). Ocorre aglomeração dos pós tornando-os compactos e é normalmente executada em prensas mecânicas ou hidráulicas, onde uma quantidade predeterminada de pós é colocada numa cavidade e assim compactada até o momento da sinterização em forno apropriado. Sinterização é basicamente a matéria transportada por estímulo térmico, fortalecendo a união entre as partículas e a modificação geométrica dos poros (LEN EL,V .FRITZ., 1980).

Segundo os pesquisadores Nakamura e Tsuya (1983), na metalurgia dos pós, o processo de sinterização tem o objetivo de atingir a melhoria das propriedades mecânicas. Len e Fritz (1980) declaram que ocorre um processo de aquecimento que promove a aglomeração das partículas pequenas, resultando uma ligação por meio de formação de fase líquida, difusão (fenômeno de transporte de material por movimento atômico que implica na homogeneização dos átomos, moléculas ou íons envolvidos) no estado sólido.

Cornelia Marinescu et al., 2017, estudaram a formação microestrutural relacionada com sinterização, sendo um estudo de biomateriais e a microestrutura do trabalho relacionado com sinterização está apto à comparação com alguns métodos utilizados neste trabalho, também relacionados com sinterização. O processo de sinterização é uma das etapas mais importantes de fabricação, determina propriedades relevantes e comportamentos dos materiais em serviço. É fundamental, entretanto, a condição necessária de exposição e temperaturas adequadas para o que se propõe.

A difusão volumétrica (movimentação de átomos através do cristal, de um local para outro) é um parâmetro bastante significativo na sinterização. Quando átomos vizinhos ficarem bem próximos, a energia de ativação se eleva e a velocidade de difusão torna-se um pouco lenta (MALISKA, A.M., 1995).

2.4 TERMOGRAFIA

A Termografia é uma técnica que capta a radiação infra-vermelha emitida pelos corpos, possibilitando a medição de temperaturas e a observação de padrões de distribuição de calor em um determinado sistema. Existe uma vasta gama de aplicações da termografia em diversas áreas, tais como: área militar, medicina, indústria e engenharia (REISEMBERGER, 2014).

Esta emissão de radiação depende da emissividade dos materiais e varia com o comprimento de onda e com a temperatura. A Lei de Stefan-Boltzmann define a relação entre a energia irradiada e temperatura ao afirmar que o total de radiação emitida por um objeto é diretamente proporcional à sua área. A emissividade(ε) da pele humana é bastante alta ($\varepsilon_{\text{pele}} \cong 0,98$, sendo que um corpo negro tem $\varepsilon_{\text{corpo negro}} = 1$). As medições de radiação infravermelha emitidas pelos corpos podem ser convertidas diretamente em valores de temperatura, o que ocorre em uma câmera de Termografia, quando existe um valor de emissividade do material (BEJAN, 1993), conforme segue o exemplo para emissividade da pele, no entanto poderia ser em manifestações na superfície do que está acontecendo no núcleo de um corpo qualquer:

$$q''_{\text{pele} \rightarrow \text{câmera}} = \varepsilon_{\text{pele}} \sigma T_{\text{pele}}^4 F_{\text{pele} \rightarrow \text{câmera}} \quad (4)$$

Onde,

$q''_{\text{pele} \rightarrow \text{câmera}}$ é a fração da radiação por unidade de área (fluxo de radiação) que é emitida pela pele e é interceptada (i.e., totalmente absorvida) pela câmera, em Wm^{-2} ; $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ a constante de Stefan-Boltzmann; T_{pele} a temperatura da pele a determinar, K; $q_{\text{(pele} \rightarrow \text{câmera})}'' = \varepsilon_{\text{pele}} \sigma T_{\text{pele}}^4 F_{\text{(pele} \rightarrow \text{câmera})}$ o fator de forma, que representa a fração da energia radiante total emitida pela pele em todas as direções que atinge a câmera, sendo que é um parâmetro puramente geométrico, mas que demonstra que a temperatura medida pela câmera é função da posição relativa da mesma em relação ao objeto que se deseja medir a temperatura.

Como o sensor da câmera detecta e mede a radiação emitida pela pele, $q''_{\text{pele} \rightarrow \text{câmera}}$, adotando-se $\varepsilon_{\text{pele}} \cong 0,98$, por exemplo, e uma posição relativa conhecida tal que $F_{\text{pele} \rightarrow \text{câmera}}$ tenha o mesmo valor em todas as medições, a única incógnita a determinar na Equação (4) é a temperatura da pele (ou de um corpo). Esta é calculada internamente pela câmera e mostrada no termograma visualmente por uma distribuição de cores ou por um arquivo com os valores calculados para cada posição na imagem capturada.

2.5 ASPERSÃO TÉRMICA

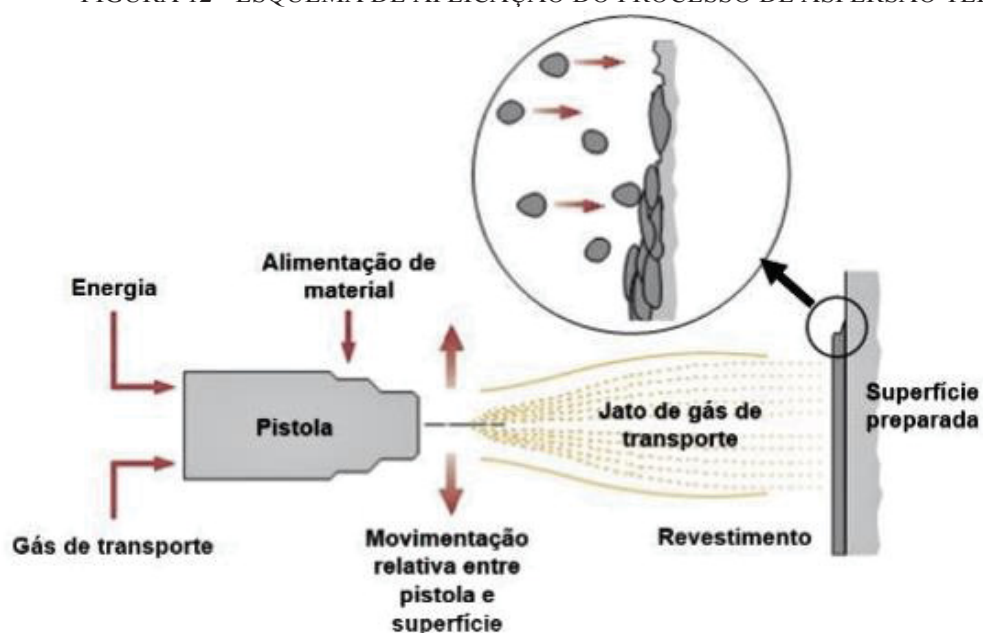
Aspersão térmica (AT) é uma tecnologia com uma variedade de processos em que materiais metálicos ou não-metálicos, no formato de pó, vareta, cordão ou arame, são depositados em uma característica fundida ou semifundida sobre um substrato (aquilo que serve de base), substrato este que é preparado para fundamento de um depósito aspergido. Casteletti et al. (2010), afirma que esta tecnologia se compõe de vários processos, técnica versátil que realiza deposições em superfícies de substratos e com a vantagem de formação de revestimento com taxa elevada de dureza, ocasionando melhora nos resultados de reparo de peças, e.g.

De acordo com Sampson (1997), nos processos por aspersão térmica (Thermal Spray (FS)), os materiais de deposição são fundidos ou aquecidos por fonte de calor gerado no bico de uma pistola apropriada, através de combustão de gás, arco elétrico ou por plasma.

Revestimentos produzidos pelo método de aspersão térmica possuem sistema de aplicação e pode-se classificá-los em três grandes grupos: Os que envolvem fusão do metal e do material de aporte, os que abrangem somente a fusão do material de aporte e os que envolvem um processo de difusão.

Na utilização da aspersão térmica é necessário analisar as mudanças superficiais causadas por um ambiente ou por uma condição de trabalho para determinar qual o tipo de material de revestimento deve-se aplicar. É importante avaliar e garantir uma elevada aderência, facilidade para depositar o material, baixa porosidade e o custo (se comparado com outros métodos). Para a aplicação do método, é necessário um material específico, como um material de aporte, uma fonte de energia para fundir as partículas e a transferir energia cinética e também um bico direcionador para aplicação. A FIGURA 12 demonstra o esquema de aplicação do processo de aspersão térmica conforme o material a ser aplicado, métodos de aquecimento e aceleração das partículas em direção ao substrato.

FIGURA 12 - ESQUEMA DE APLICAÇÃO DO PROCESSO DE ASPERSÃO TÉRMICA



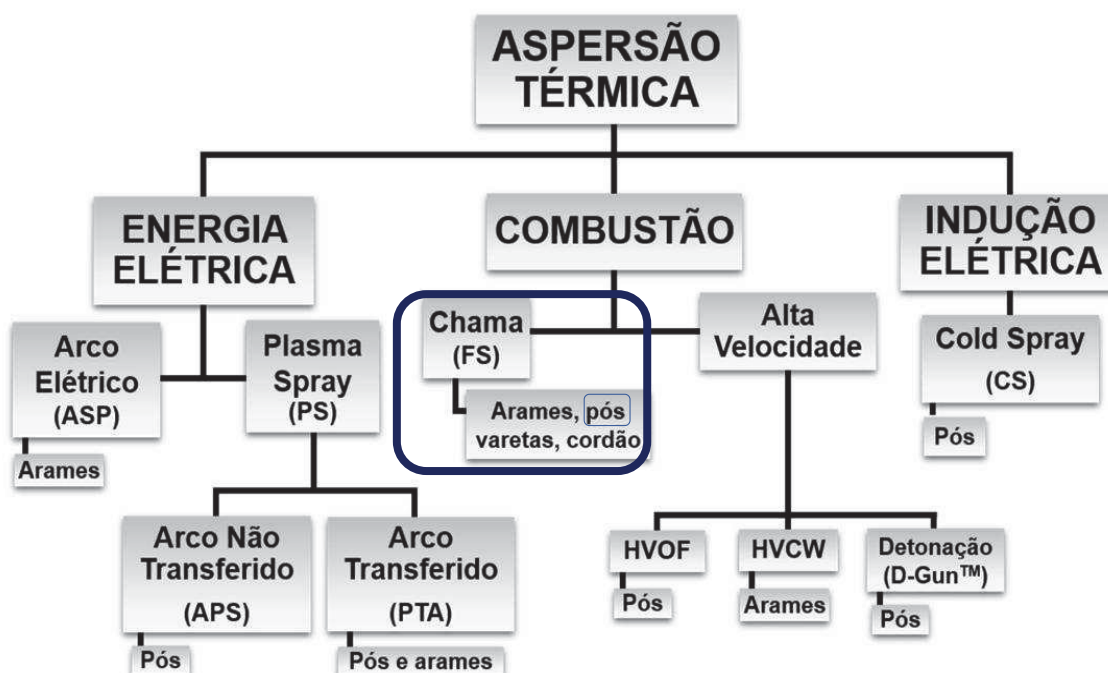
FONTE: Oerlikon Metco (2016a)

No processo, um feixe de partículas é aquecido e atingem velocidade, por um gás comprimido, então dirigem-se até o substrato e ao se chocarem, se achatam e formam pequenas partículas deformadas, na configuração de panquecas, que aderem as irregularidades. (SUCHARSKI et al., 2011).

Basicamente, existem variações no sistema de AT que ocorrem dependendo do tipo de material utilizado, na forma de aquecimento, no tipo de procedimento de propulsão dos materiais para o substrato. No que diz respeito à formação da tocha os métodos podem ser por combustão de gases, por arco elétrico ou por plasma. (TUCKER JR, 1994).

O processo classifica-se em grupos, conforme é demonstrado a seguir no esquema da FIGURA 13.

FIGURA 13 - FLUXOGRAMA DE SUBDIVISÕES DO PROCESSO DE ASPERSÃO TÉRMICA



FONTE: Classificação LABATS - UFPR - Bavaresco (2016).

Dentre todos esses processos de aplicação por AT, apresentado no fluxograma da FIGURA 13, o mais antigo e utilizado é o de chama pó (FS) com o gás oxi-acetileno, por apresentar baixo custo, utilização mais fácil e pela variedade de materiais que podem ser utilizados.

Será destacado o processo de chama a combustão Chama pó (FS), que utiliza um material na forma de pó e usa energia química da combustão de gases combustíveis como fonte de aquecimento, a velocidade das partículas é relativamente baixa (menor que 100 m/s) o que traz ao revestimento mais porosidade e uma baixa resistência de coesão (ASM INTERNATIONAL, 2004; CANARIM; BIANCHI, 2011). Arames, varetas, cordões e pós também fazem parte do grupo.

A tecnologia de AT (FS) trabalha com material no formato de pó e sua energia química é de combustão de gases combustíveis que servem como fonte de aquecimento do material depositado, ao mesmo tempo que um jato de ar comprimido, provavelmente de gás inerte (nitrogênio ou argônio e.g.), jateia o pó por uma pistola e suas partículas são aceleradas indo ao encontro do substrato, tendo a velocidade, normalmente, em torno de 100 m/s, o que é baixa velocidade conferindo ao revestimento maior porosidade e menor coesão (CANARIM, BIANCHI, 2011).

Normalmente o pó de alimentação é um metal puro, uma liga, um compósito, uma cerâmica, um carboneto, um polímero ou alguma combinação destes. A Taxa de alimentação é variável e pode ser de aproximadamente 50 a 100 g/min, o que não ocorre quando o material possui o ponto de fusão muito baixo. A taxa de fluxo de gás de transporte para tal está entre 3 a 51/min (ASM INTERNATIONAL, 2004; PAWLOWSKI, 2008a; PAREDES, 2009).

Gases combustível e oxigênio são misturados com volumes precisos para a deposição, nesta fornecem o necessário para a operação. Segundo HEINRICH (1997), os principais gases utilizados são:

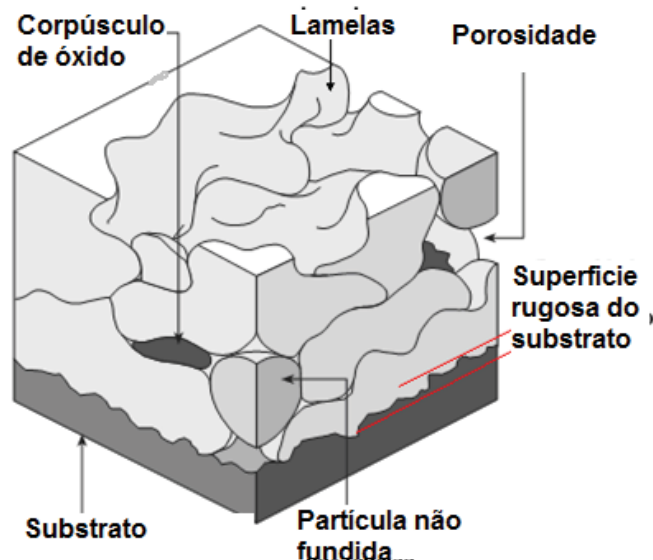
- Gases de combustão – fornecimento de energia térmica fornecem energia térmica; Gases de arraste – conduzem o material a ser aspergido;
- Gases de resfriamento – fazem o resfriamento do substrato ou do próprio revestimento durante/após o processo de aspersão;
- Gases de proteção - utilizados para formar uma cortina gasosa pra proteger o processo. empregados na formação de uma cortina gasosa de proteção durante o processo.

A temperatura, no momento da deposição pode chegar a 3.100°C no bico da pistola. A fonte possui duas funções, uma delas é de fundir o material de aporte e a outra tem a função de gerar energia cinética, contribuindo para a locomoção das partículas de pó que estão fundidas até o material de aporte. São realizados alguns passes com a pistola na superfície, até que se obtenha a espessura desejada e a partir disso se forma o revestimento heterogêneo com óxidos, vazios, poros e partículas não fundidas ou pré-solidificadas(LIMA; TREVISAN, 2002; CAPRA; PAREDES, 2006; NOVICKI, 2008; MENDES, 2010). Os processos da fabricação do pó e os parâmetros utilizados influenciam fortemente nas propriedades físicas dos revestimentos, especialmente as mecânicas.

Nos processos de aspersão térmica pode-se perceber no seu revestimento a adesão ao substrato, verificando-se que se determina o grau da aderência pela forma de preparação do substrato e pela coesão entre lamelas e filmes óxidos, também pela formação dos vazios e poros. Algumas partículas se solidificam, outras podem não se fundir, na passagem pela chama do processo de aspersão térmica. Outro motivo importante é o pré-aquecimento do substrato antes da deposição dos pós, que quando bem preparado ocorre melhora significativa na aderência do revestimento neste.

A microestrutura é representada por meio do exemplo da FIGURA 14, possui o desenho de lamelas, vazios, poros e filmes de oxido, que estão na aderência das partículas depositadas no substrato (PAWLOWSKI, 2008; SUCHARSKI, 2016; AWS, 1985).

FIGURA 14- EXEMPLO DE REVESTIMENTO DEPOSITADO POR ASPERSÃO TÉRMICA



FONTE: Adaptado de Metco (2016a).

Inúmeras aplicações científicas e industriais são encontradas nos processos de Aspersão Térmica, como por exemplo proteção contra desgaste/fricção; recuperação de peças; contra corrosão/oxidação; revestimento para barreira térmica; condutores térmicos, condutores elétricos ou resistores, etc., em todo tipo de indústria incluindo aeroespacial, implementos agrícolas, automotiva, metalurgia primaria, papel, produção de óleo e gás, química e biomédica. Revestimentos depositados por AT podem apresentar proteção contra corrosão durante muito tempo, cerca de vinte anos sem ter nenhuma manutenção e também por até quarenta anos com pouquíssima manutenção (TUCKER JR, 1994; UNGER, 2003; MENDES, 2010).

Maria Nalu Verona Gomes (2016) liderou uma pesquisa no Laboratório de aspersão térmica e soldas especiais (LABATS) sobre a produção de um compósito Al/Fe₃Al-Fe₃AlC_x com partículas de tamanho micro e nanométricas a fim de verificar a viabilidade de depositar este compósito pelo processo Chama a pó (FS) sobre substrato de aço para formar um revestimento protetivo, com resultados bastante promissores. O compósito produzido foi adequadamente depositado pelo processo de FS obtendo camadas com aderência ao substrato,

porosidade, dureza e resistência a oxidação adequadas a revestimentos de proteção. O compósito depositado apresentou pela análise de DRX e EDS a formação de novas fases.

Caio Afonso Moreira (2019), pesquisador do LABATS, realizou um estudo, com aspersão térmica, sobre alumínio e o cobre, pois estes são materiais muito utilizados na indústria, especialmente na aeronáutica/aeroespacial. O estudo tratou de entender sobre a formação de liga, suas fases formadas e a formação do eutético da liga, formação de microconstituente eutético foi comprovada nos processos por aspersão térmica. Todos os processos realizados na pesquisa puderam comprovar que a tecnologia da aspersão térmica pode revelar formação de estrutura lamelar bem como a presença de intermetálico e também alumínio puro. Percebeu-se claramente a interação de materiais dissimilares depositados simultaneamente por aspersão térmica provando-se a existência da possibilidade da produção eutética por meio de processo por AT.

Antonio da Silva (2017), em seu estudo no LABATS, desenvolveu uma pesquisa na área de aspersão térmica, promovendo o estudo profundo dos parâmetros utilizados para deposição por aspersão térmica, para isso utilizou o robusto método estatístico de Taguchi. A utilização do método Taguchi, foi realmente uma ferramenta eficiente na análise da aspersão térmica por chama-pó neste estudo. As melhores respostas de cada fator obtidas pela metodologia, a qual conduziu a um experimento de confirmação final com boas propriedades no revestimento.

3 JUSTIFICATIVAS

A necessidade de proteção do trabalhador, ou do indivíduo que utiliza radiação ionizante, como meio de diagnóstico ou de ferramenta de trabalho, é algo bastante complexo, porém extremamente indispensável. Na redução de custos e redução do impacto ambiental, os resíduos de chumbo em pó que seriam reutilizados (e.g., baterias velhas) misturados aos pós de barita, podem ser usados como material atenuante em ambientes onde são empregadas as radiações ionizantes.

O material proposto no revestimento de azulejo, após sinterização da mistura e deposição por AT é uma proposta inovadora, no que diz respeito a sua viabilidade, à praticidade de aplicação na construção ou reforma de uma sala onde se utiliza radiação ionizante. Além disso a questão do aproveitamento do descarte de chumbo é interessante para os cuidados com o meio ambiente.

4 HIPÓTESE

Propos-se a hipótese de revestir via aspersão térmica, pelo processo a chama FS com a mistura do pó de chumbo reciclado com pó de barita, sinterizada e o material resultante moído, para obter pó no intuito de proteção radiológica e obter a atenuação de superfícies submetidas à radiação ionizante em instalações novas, assim como na manutenção, o que seria algo de valor no âmbito da saúde, além de custos, benefícios de praticidade na construção civil e arquitetura.

5OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal desta pesquisa foi a verificação do comportamento da mistura de pó de chumbo e pó de barita, depositadas por aspersão térmica, para revestimento de peças de cerâmica crua, assim constatarque, poderá ser utilizado como um componente de atenuação nas blindagens de radiação ionizante em paredes de instalações hospitalares, odontológicas e industriais, também para construção de biombos que poderiam ser utilizados em clinicas odontológicas, clinicas radiológicas, especialmente em salas de cirurgia onde se faz necessário o uso de aparelhos deraios X móveis.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir objetivo geral, são definidos os seguintes objetivos específicos (metas):

- Estudar a técnica e procedimentos de deposição de revestimento por Aspersão Térmica, chama oxiacetilênica, de chumbo e barita;
- Produzir pós de chumbo/barita via sinterização e posterior moagem para produzir pós viáveis de depositar via aspersão térmica com pó.
- Depositar revestimentos de chumbo-barita sinterizados sobre cerâmica crua.
- Caracterizar pós antes e depois da deposição, pela técnica de AT, no substrato de cerâmica, utilizando, DRX, MO, MEV, EDS;
- Caracterizar por atenuação dos raios X nos materiais, envolvendo o coeficiente de atenuação;
- Avaliar os revestimentos quanto as suas propriedades físicas, químicas e mecânicas;

6 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 ESTUDAR A VIABILIDADE DE PRODUZIR REVESTIMENTO DE PbBaSO_4 VIA ASPERSÃO TÉRMICA FS.

O estudo da viabilidade do presente trabalho foi realizado inicialmente com reduzidos referenciais de pesquisa, no que se refere ao pó produzido, tendo em vista a verificação da necessidade de um ensaio preliminar. Estes ensaios proporcionaram dados viáveis para análise da conclusão.

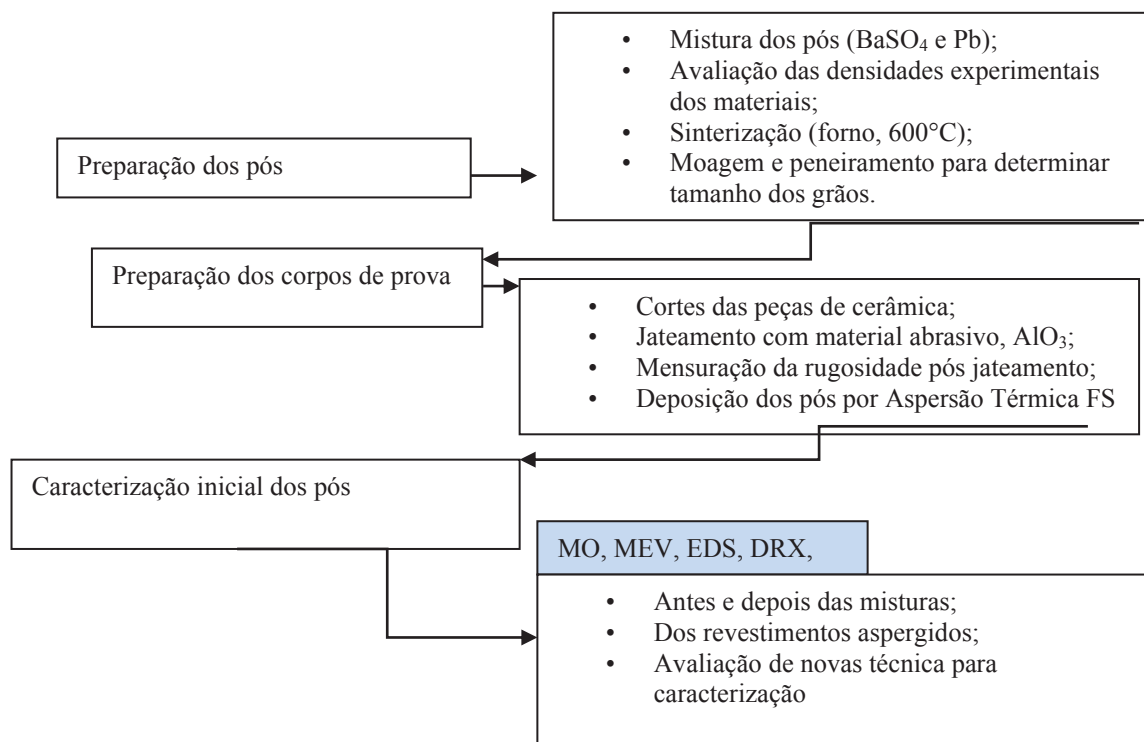
6.1.1 Testes e ensaios preliminares.

Baseado no objetivo proposto, estabeleceu-se a metodologia da primeira etapa do trabalho constituída das seguintes atividades:

- Preparação da mistura dos pós e sinterização para aglomeração dos mesmos.
- Determinação do tamanho de grãos, por peneiramento.
- Preparação e jateamento nos corpos de prova (i.e. peças de cerâmica) com abrasivo óxido de alumínio, AlO_3 ;
- Avaliação da rugosidade das amostras jateadas.
- Caracterização do pó de BaSO_4 e do pó de Pb , antes e após misturas e sinterização.
- Caracterização dos pós antes da mistura, depois da mistura e após o revestimento formado por AT:MO, MEV, EDS, DRX.

Na FIGURA 15, o fluxograma mostra de forma esquemática, como a etapa inicial do trabalho foi sendo estruturada para a presente pesquisa.

FIGURA 15- ETAPA APLICADA NO DESENVOLVIMENTO DOS MATERIAIS PARA A PESQUISA



FONTE: A autora(2017)

6.1.2Preparação dos pós

Os testes iniciam-se partir da preparação dos pós (BaSO_4 e Pb), materiais utilizados para revestimento. Nesta primeira etapa, acontece uma análise profunda a respeito da definição dos materiais e métodos utilizados no estudo.

A TABELA 2 apresenta as características químicas da barita utilizada no trabalho, a ficha com detalhes encontra-se em apêndice 2. A granulometria média do seu pó, que parte da análise do método de peneiramento industrial, com malha 325, foi de 45 micrometros (μm).

TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS INFORMATIVAS DA BARITA

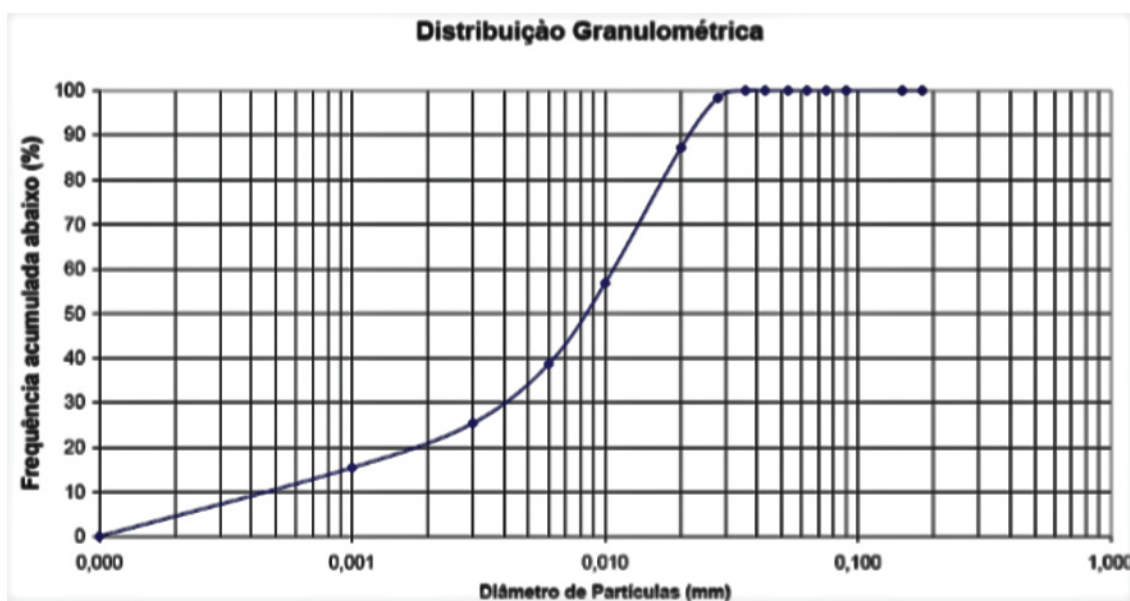
Composição básica: Sulfato de Bário (BaSO_4)	
Características Químicas	Porcentagem
BaSO_4	77,30 %
SiO_2	20,6 %
Al_2O_3	0,58 %
Fe_2O_3	0,23 %

FONTE: Apêndice 2

A análise granulométrica do resíduo de chumbo na forma de pó, material utilizado para a mistura antes do revestimento, foi obtida por difração de raio laser –Granulômetro CILAS 1064, do LAMIR - Laboratório de Análise de Minerais e Rochas, da Universidade Federal do Paraná (UFPR), ilustrada no APÊNDICE 3.

Como o material oxida facilmente na presença de oxigênio, não se pode mensurar a quantidade exata de óxido de chumbo e de chumbo metálico presente na amostra. Na FIGURA 16 é apresentada a distribuição granulométrica do pó de chumbo.

FIGURA 16 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMETRICA DO PÓ DE CHUMBO

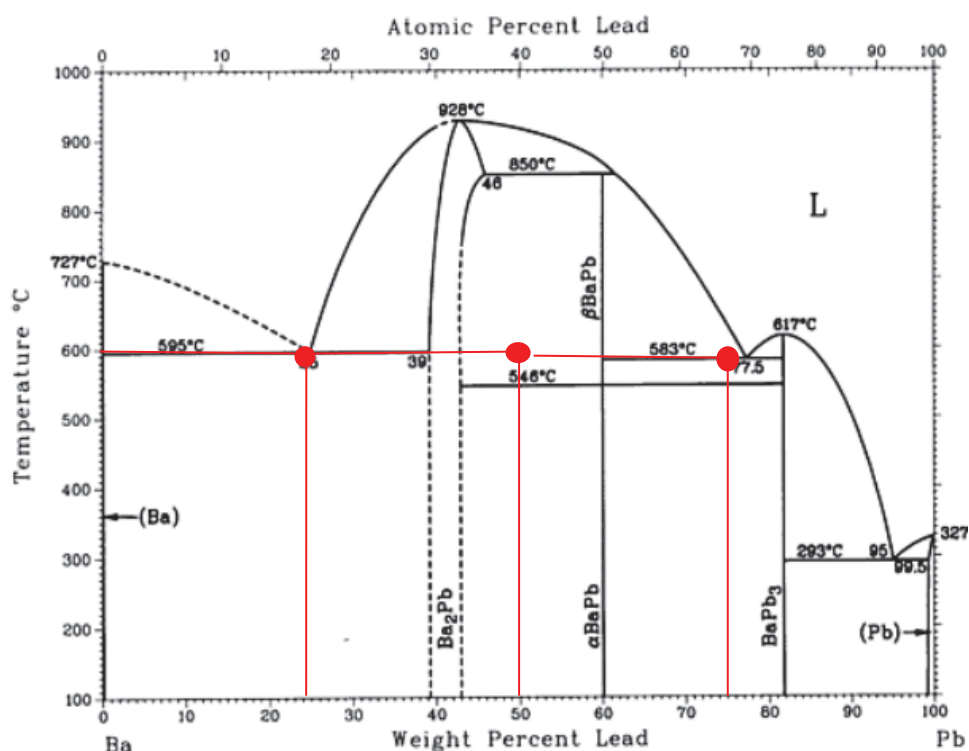


FONTE: Análise Lamir, UFPR.

Foi realizada uma mistura dos pós no misturador do Laboratório de Materiais e Tratamentos Superficiais, LAMATS da UFPR.

Foram dispostos em três recipientes de aço inox, as misturas dos pós, e submetidas a uma temperatura de 600°C em forno, por duas horas, realizando a sinterização. A partir dos grãos de tamanhos formados dessa nova mistura, foi possível depositar um pouco dos pós pelo processo AT, FS. Esta temperatura utilizada no forno, foi baseada nas análises do diagrama de fase PbBa demonstrado na FIGURA 17.

FIGURA 17 - DIAGRAMA DE FASE Ba Pb

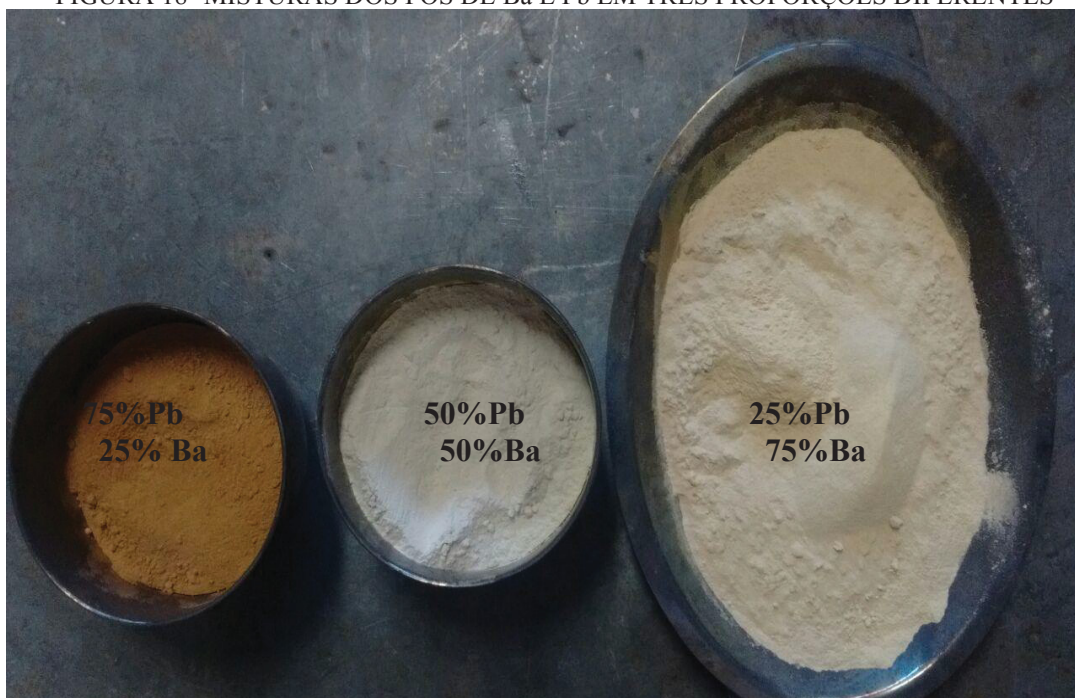


FONTE: M. HANSEN and K. ANDERKO.

Na FIGURA 18, ilustra-se os pós misturados e sinterizados nas proporções de 75% Pb e 25% Ba, 25% Pb e 75% Ba, 50% Ba e 50% Pb, respectivamente, os pontos indicando a temperatura relacionada com a porcentagem dos pós estão descritos na figura 17 (diagrama de fase), indicados em vermelho.

Pelo fato de não existir algo na literatura científica sobre a quantidade e porcentagem ideal para as misturas sobre revestimento formando azulejos direcionados a radioproteção, houve a necessidade de testar porcentagens diferentes para depositar todas e assim verificar o melhor material obtido para atender aos objetivos mencionados.

FIGURA 18- MISTURAS DOS PÓS DE Ba E Pb EM TRÊS PROPORÇÕES DIFERENTES



FONTE: A autora (2017).

A partir desta etapa, foi realizado peneiramento dos pós para realização da granulometria, verificadas a partir de testes experimentais, até chegar a conclusão qual o tamanho de grãos seria indicado, tendo em vista a posterior realização da AT. A granulometria que mais se adaptou com o que se esperava para início dos testes foi a que se originou da peneira com aberturas - $106\ \mu\text{m} + 250\ \mu\text{m}$.

6.1.3 Preparação dos corpos de prova

Para o substrato empregou-se cerâmica, marca Pierini, código 660, com medida da peça inteira para revestimento A $25,6 \times 6,5\text{cm}$ e espessura de $\approx 5\text{mm}$ nesta primeira etapa disponibilizado pela empresa Pierini Revestimentos Cerâmicos. Sua ficha técnica com informações sobre as análises térmicas demonstrando dilatometria, relatório de coeficiente de dilatação, e ensaio do ponto de amolecimento, encontra-se em APÊNDICE I deste trabalho.

A FIGURA 19 mostra os corpos de prova de cerâmica, onde foram depositadas, por AT, as misturas de chumbo e barita.

FIGURA 19- PEÇAS DE CERÂMICA DISPOSTAS PARA A REALIZAÇÃO DOS TESTES



FONTE: A Autora.

Os corpos de prova foram jateados com abrasivo, processo recomendado para obter a rugosidade superficial necessária à aderência do revestimento, o que garante uma limpeza no grau Sa3, da norma NACE RMN – 01/70. Após o jateamento, com abrasivo Al_2O_3 , das peças, é aferida a medida da rugosidade do substrato, com o rugosímetro Mitutoyo 201, do Laboratório de aspersão térmica e soldas especiais (LABATS) UFPR,x

6.1.3.1 Aspersão Térmica

A partir da mistura já realizada, das placas de cerâmicas jateadas e limpas, inicia-se o processo de deposição por Aspersão Térmica. As deposições foram realizadas no Laboratório de Aspersão Térmica e Soldas Especiais, do Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC) da UFPR.

Os equipamentos de AT/FS que foram utilizados nesta pesquisa, entendem-se por Pistola SulzerMetco Type 6p-II Thermospray Gun Instruction, encontram-se no Laboratório de Aspersão Térmica e Soldagens Especiais (LABATS). Na FIGURA 20 pode-se observar a ilustração da desta.

Em todas as etapas da pesquisa, os IPI'S necessários para a proteção de todos os pesquisadores envolvidos foram devidamente utilizados, conforme está melhor explicado na segunda etapa.

FIGURA 20- MODELO DE PISTOLA THERMOSPRAY® GUNS DA SULZER METCO)



FONTE: LABATS.

AAT foi realizada com os parâmetros que são listados na TABELA 4. Esses parâmetros foram previamente testados e analisados para a realização de uma deposição da mistura dos pós da maneira correta conforme estudos demonstrados na seção 2.4.

Nesta etapa foram realizados testes com base nas granulometrias alcançadas com os valores de porcentagens de medidas de pós de chumbo e ou barita mencionados na FIGURA 19. Por se tratar de algo novo, ainda não era sabido qual porcentagem de ambos os materiais seria ideal para o revestimento. A partir deste momento, alguns parâmetros no equipamento foram utilizados, conforme demonstrado na TABELA 4. Todos os ingredientes para a realização do experimento já estavam devidamente preparados, como comentado em todas as etapas listadas anteriormente. Também foram realizados testes de temperatura para a devida organização do trabalho.

TABELA 4- PARÂMETROS UTILIZADOS NA ASPERSÃO TÉRMICA

VARIAVEIS	VALORES	UNIDADES DE MEDIDA
Granulometria	- 106 μm + 250 μm .	μm
Distânciamédia	25	cm
Numero de passes	3	
Temperature de préaquecimento	180	$^{\circ}\text{C}$
Taxa de alimentação	65	g/min
Fluxo gas de arraste	15	scfh
Pressão gás de arraste	51	psi
Pressão de oxigênio	40	psi
Pressão acetileno	15	psi
Fluxo de oxigênio	80	scfh
Fluxo de acetileno	40	scfh
Vibrador	1.6	bar
Pressão do ar comprimido	1.8	bar

FONTE: A autora.

Nesta primeira etapa, após a conclusão dos pós, foram preparadas as amostras revestidas, as quais foram submetidas a algumas análises de caracterização preliminar.

6.1.4 Caracterização inicial(primeira etapa)

6.1.4.1 Embutimento

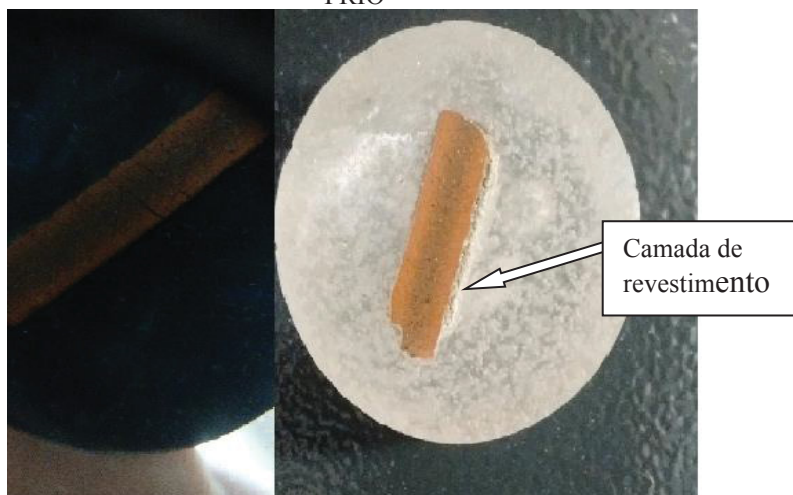
Para a realização da primeira microscopia óptica foi necessário o embutimento do material revestido na cerâmica. Este método foi realizado primeiramente com baquelite e posteriormente com resina a frio, sendo o segundo método melhor aproveitado.

Na confecção dos embutimentos com baquelite, foi realizado um corte transversal do corpo de prova num tamanho de 1,0 x 0,5cm com espessura \approx 5mm e sequencialmente embutiui-se com baquelite em uma temperatura de 120 $^{\circ}\text{C}$ aproximadamente. No embutimento a frio, procedeu-se da mesma forma, no entanto utilizou-se resina em pó (monômero) e a

líquida (polímero), auto-polimerizável, não necessitando aumentar a temperatura numa embutidora.

A FIGURA 21 ilustra as duas composições, com baquelite e com resina a frio, respectivamente.

FIGURA 21 - VISTA LATERAL DE REVESTIMENTO EMBUTIDO COM BAQUELITE E RESINA A FRIO



FONTE: A autora.

Em uma visão transversal, a primeira imagem com baquelita, não demonstra com exatidão a parte do material aspergido, pois confunde-se com o revestimento, pelo fato de ter uma pressão forte no momento do encaixe, houve uma evasão de partículas da cobertura, que se misturaram com a baquelita. O trabalho com a resina a frio foi muito mais vantajoso e proveitoso, pois sua composição e sua transparência permitiram uma visualização mais aceitável, e sem a pressão no material, não houve degradação da estrutura do revestimento.

6.1.4.2 Microscopia óptica

Realizada a primeira microscopia óptica da mistura Pb e BaSO₄ depositada no substrato, pelo equipamento Olympus BX51M do LAMATS, UFPR. Na FIGURA 22 é visualizado o equipamento de microscopia óptica utilizado na pesquisa.

FIGURA 22 - EQUIPAMENTO DE MICROSCOPIA OPTICA



FONTE: A Autora.

6.1.4.3 Difração de raios X

Dando continuidade a caracterização, foram realizadas, na primeira etapa, as técnicas de DRX, cujo procedimento efetivou-se no Laboratório Multiusuário de Difração e Espalhamento de Raios X do centro Politécnico da UFPR, cujo equipamento foi adquirido através do Projeto FINEP CT-INFRA793/2004 e 3080/2011, tendo como parâmetros iniciais as informações contidas na TABELA 5. Estes parâmetros foram testados até que se chegasse a estes valores.

TABELA 5- PARÂMETROS UTILIZADOS NO EQUIPAMENTO DRX

ALVOS	Pb, BaSO ₄ , PbBaSO ₄
Tensão	40 KV
Corrente	20.0 (mA)
Movimentação do eixo	θ -2 θ
Faixa de varredura	20-90 °
Step	0,02 (graus)
Modo de varredura	Contínua
Velocidade angular	1,5 °/min

FONTE: A autora.

Quando se tratava do material chumbo reciclado, o experimento DRX foi realizado no Laboratório de análises de minerais e rochas (LAMIR) e teve a modificação da faixa de varredura que foi de 05-70°.

6.1.4.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Análises também foram realizadas pelo método de microscopia eletrônica de varredura, que estuda a superfície das amostras, podendo-se observar a microestrutura das mesmas. O trabalho foi realizado no Centro de microscopia eletrônica, no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná.

6.1.4.5 Espectroscopia por dispersão de energia (EDS)

O estudo por espectroscopia por dispersão de energia foi também realizado no Centro de microscopia eletrônica do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná e teve como objetivo a realização de mapas e espectros dos elementos químicos dispostos na amostra.

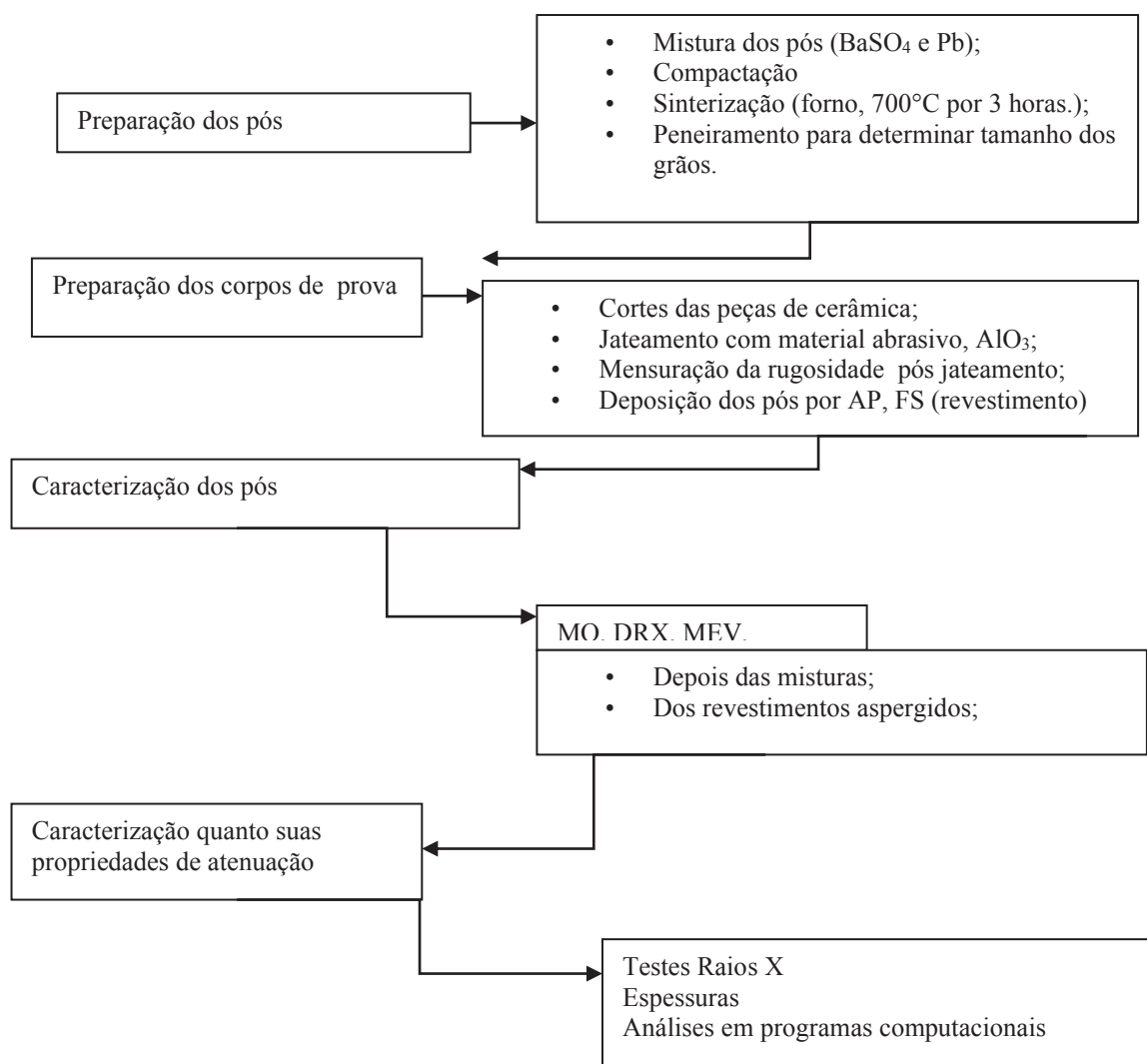
6.2 OTIMIZAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

O estudo de todos os processos desde a análise de cada pó separado até a mistura dos materiais, deposição e a caracterização de cada um dos constituintes em pó, foram realizados

na primeira etapa, e seguindo neste próximo passo foram testados novos parâmetros para a concretização dos objetivos.

A composição do experimento segue conforme fluxograma da FIGURA 23.

FIGURA 23- FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA APLICADA NO DESENVOLVIMENTO DA SEGUNDA ETAPA DA PESQUISA



FONTE: A autora.

Este estudo foi algo muito novo e para o desenvolvimento da pesquisa, foram necessários os primeiros passos para desenvolver o material utilizado, que até então não se conhecia na literatura, sobre as misturas e deposição com pó de chumbo misturado com barita para radioproteção. O chumbo é um material volátil e a aspersão térmica se utiliza de altas temperaturas para a deposição, o que dificultava no princípio da pesquisa experimental.

O início do estudo foi um apanhado de conhecimentos na literatura para se conseguir chegar a alguns materiais e processos necessários para o desenvolvimento deste compósito apresentado na segunda etapa e estudado neste trabalho. A pesquisadora Barros (2009) desenvolveu um método sobre a deposição de pó de chumbo por aspersão térmica em um aparato de metal e este trabalho tem o objetivo de dar continuidade ao estudo misturando este pó de chumbo reciclado com barita em pó para dar continuidade ao processo de aprendizagem sobre atenuação e proteção radiológica. A primeira etapa foi fundamental para isto, no entanto, não se obteve resultados tão satisfatórios quanto o esperado e a segunda etapa iniciou-se com alguns parâmetros já aprendidos e experimentados. As análises foram mais precisas (na medida possível) e alguns parâmetros tiveram que sofrer algumas modificações, pela experiência adquirida durante os primeiros anos de pesquisa. Desenvolvido alguns métodos para o início da segunda fase, assim se fez para o avanço dos estudos.

6.2.1 Preparação final dos pós (segunda etapa)

Os materiais utilizados para revestimento, na segunda fase do estudo, são o chumbo e a barita, ambos em pó, misturados, compactados no interior de uma matriz onde se colocou uma pressão em cima da mistura dos pós e houve sinterização em um forno com a temperatura de 700°C, por três horas. Na compactação os pós se aglomeraram e tornaram-se muito bem compactados. Na sinterização, os pós se agregaram formando uma massa com aparência de pedra, de cor amarela esverdeada, conforme ilustra a FIGURA 24. A pedra foi moída, num moinho, no LABATS e peneirada no mesmo laboratório, utilizando-se das mesmas peneiras da etapa anterior, avaliando-se a melhor porção com sua granulometria ideal para o trabalho, sendo determinado que a granulometria perfeita está na faixa de + 63 - 180 micrometros, i.e., maior que 63 μm menor que 180 μm , esta determinação ocorreu a partir de vários testes no equipamento para se chegar a tal número.

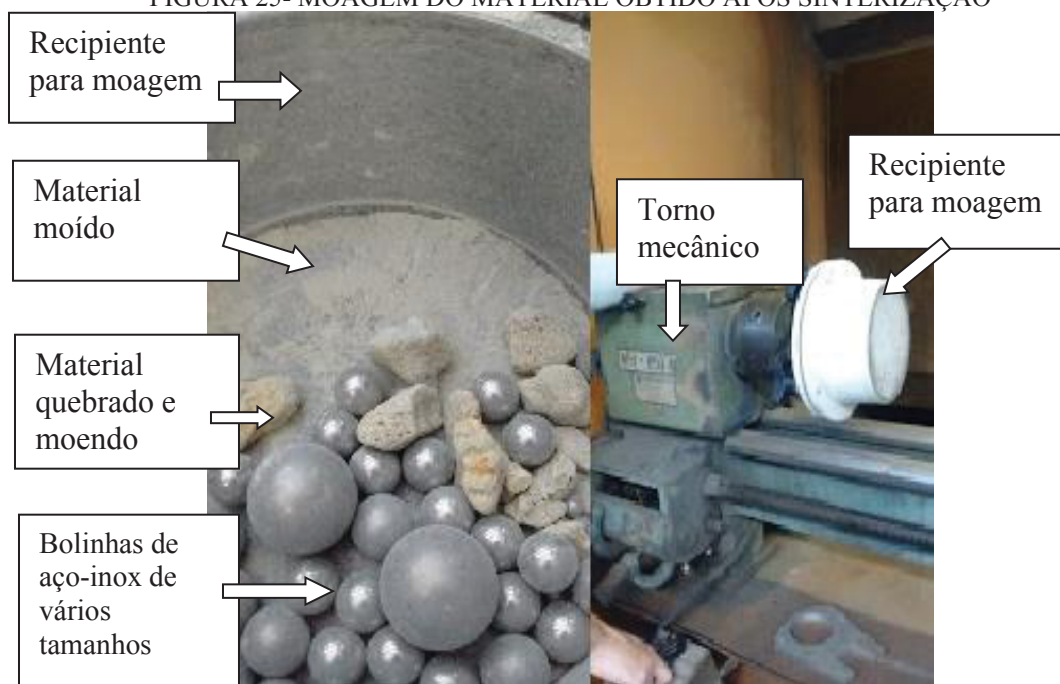
FIGURA 24 -AGLOMERADO OBTIDO PELA MISTURA DE CHUMBO E BARITA APÓS SINTERIZAÇÃO



FONTE: A autora.

A FIGURA 25 apresenta o moinho do LABATS, constituído por recipiente de aço hermeticamente fechado com bolinhas de aço inox de tamanhos variados, no interior da mesma, sendo seu funcionamento giratório preso a um torno mecânico, reservatório utilizado para moagem da pedra.

FIGURA 25- MOAGEM DO MATERIAL OBTIDO APÓS SINTERIZAÇÃO



FONTE: A autora

6.2.2 Preparação final dos corpos de prova (segunda etapa).

Nesta segunda etapa foi realizado o mesmo procedimento de preparação dos azulejos [jateamento com abrasivo, limpeza no grau Sa3, segundo norma NACE RMN – 01/70]. Nesta fase, foi necessário que as amostras estivessem em um tamanho de 10x10 cm. já que iriam passar pelos testes no equipamento de raios X, melhorando assim o campo de colimação para poder fazer as análises de atenuação, conforme objetivo deste estudo. Após o jateamento foi realizada a medida da rugosidade do substrato com o mesmo equipamento da primeira etapa. Na TABELA 6 são apresentadas as medidas de rugosidade das amostras (médias das 5 partes em uma amostra).

6.2.2.1 Deposição das misturas PbBaSO₄ via aspersão térmica chama a pó

Com todo o material preparado, foi realizado nesta etapa a finalização da deposição dos revestimentos, cujos parametros encontram-se na TABELA 7.

Durante o processo da pesquisa, e em momentos onde os pesquisadores envolvidos se encontravam no laboratorio LABATS, foi necessario o uso de IPI'S para proteção de todos os envolvidos e das pessoas que ali circulavam naqueles momentos. Foram utilizadas máscaras com filtros apropriados para o momento da deposição na AT, pois o chumbo é um material tóxico. Além das máscaras, foram utilizados luvas, óculos de segurança, jalecos, sapatos e lavagem das mãos após a utilização dos materiais. No equipamento de Aspersão Térmica, há um exaustor para sugar o ar poluido com os pós que ali são utilizados, a circulação do ar, a agua que escorre pelas paredes do local de deposição de pós e decantador para os materiais que ali se depositam.

TABELA 7 - PARÂMETROS DA SEGUNDA ETAPA NA ASPERSÃO TERMICA

VARIAVEIS	VALORES	UNIDADES DE MEDIDA
Granulometria	+63 -180	µm
Distânciamédia	25	cm
Numero de passes	3	
Temperature de préaquecimento	180	°C
Taxa de alimentação	65	g/min
Fluxo gas de arraste	15	Scfh
Fornecimentopressão	51	Psi
Pressão de oxigênio	40	Psi
Presssãoacetileno	15	Psi
Fluxo de oxigênio	80	Scfh
Fluxo de acetileno	40	Scfh
Pressãovibradorfunil	1.6	Bar
Pressão do ar comprimido	1.8	Bar

FONTE: A autora.

A unica modificação realizada na tabela de parâmetros, desde a primeira etapa, foi apenas a granulometria da mistura, com a evolução do experimento houve algumas modificações no pó comentado nos processos da segunda etapa, o que foi muito satisfatório.

Na FIGURA 26 mostra-se o momento do processo de deposição por Aspersão Térmica sendo aplicado na cerâmica, demonstrando a chama por onde transportam-se as partículas conforme reportado no esquema da FIGURA 12.

FIGURA 26 - DEPOSIÇÃO DA MISTURA DOS MATERIAS PELO PROCESSO DE ASPERSÃO TÉRMICA



FONTE: http://www.grupogp.net/servicos_cat1.php. Acesso em 21/11/2019.

Seis amostras foram submetidas ao processo de AT, sendo as cerâmicas com revestimentos de espessuras diferentes, conforme demonstrado na FIGURA 27.

FIGURA 27 - CERÂMICAS REVESTIDAS COM O MATERIAL MISTURADO POR AT



FONTE: A autora.

Nesta etapa da pesquisa, os azulejos de cerâmica estavam dispostos em tamanhos maiores do que na primeira etapa, havendo agora a necessidade deste tamanho de 10 cm, no mínimo, para a colimação dos feixes de raios X, nos testes de atenuação.

Ao término da deposição por AT foram realizados os processos de caracterização das amostras.

6.3 CARACTERIZAÇÃO DOS PÓS

A atenção às características dos materiais é relevante, pois permite a seleção apropriada dos mesmos, no que se refere ao caminho para a definição do produto final (MARINHO, 2014). São várias as técnicas de caracterização, elas estão intrinsecamente ligadas ao conceito de matéria e, nas análises, compreendemos que as propriedades deste material (mecânicas, ópticas, etc.) são definições das aplicações tecnológicas deste.

6.3.1 Microscopia óptica (segunda etapa)

Nesta etapa os pós foram analisados nas suas fases, misturada, sinterizada, e aspergidas pela tecnologia de Aspersão Térmica. A primeira parte foi a realização da Microscopia Óptica que demonstra a morfologia do pó composto com a amostra em resina com o mesmo processo da primeira etapa.

6.3.2 Difração dos raios X (segunda etapa)

Foi realizado o DRX da mistura dos pós de chumbo e barita, no Laboratório de análises de minerais e rochas (LAMIR), do Centro Politécnico da UFPR, cujos parâmetros que o próprio LAMIR ajustou, são demonstrados na TABELA 8. O material já depositado por AT (revestimento) foi analisado no Laboratório Multiusuário de Difração e Espalhamento de Raios X, do Centro Politécnico da UFPR, sendo seus parâmetros demonstrados na TABELA 9.

TABELA 8- PARÂMETROS PARA ANÁLISE NO DRX DA MISTURA DOS PÓS (BaSO₄)

Alvos	Pb, BaSO ₄ , PbBaSO ₄
Tensão	40 KV
Corrente	30.0 (mA)
Movimentação do eixo	θ -2 θ
Faixa de varredura	05-70 °
Step	0,02 (graus)
Modo de varredura	Contínua
Velocidade angular	1,5 °/min

FONTE: Análise LAMIR.

TABELA 9 - PARÂMETROS PARA ANÁLISE NO DRX DE REVESTIMENTO DEPOSITADO POR AT

Alvos	Pb, BaSO ₄ , PbBaSO ₄
Tensão	40 KV
Corrente 30.0 (mA)	
Movimentação do eixo	θ -2 θ
Faixa de varredura	20-90 °
Step	0,02 (graus)
Modo de varredura	Contínua
Velocidade angular	0,5 °/min

FONTE: A autora.

6.3.3 Microscopia eletrônica de varredura (etapa final)

A caracterização por MEV foi realizada no Centro de Microscopia eletrônica do Centro Politécnico da UFPR. Omicroscópio eletrônico produz imagens de alta resolução da superfície da amostra, estas são imagens tridimensionais características e avaliam a estrutura superficial da amostra, como aspectos topográficos, e.g.

6.3.4 Espectroscopia de energia dispersiva

É de extrema importância o uso da espectroscopia de energia dispersiva, em conjunto com o microscópio eletrônico de varredura, enquanto o microscópio proporciona imagens nítidas e tridimensionais, a espectroscopia permite sua identificação e mapeia a distribuição dos elementos químicos por material.

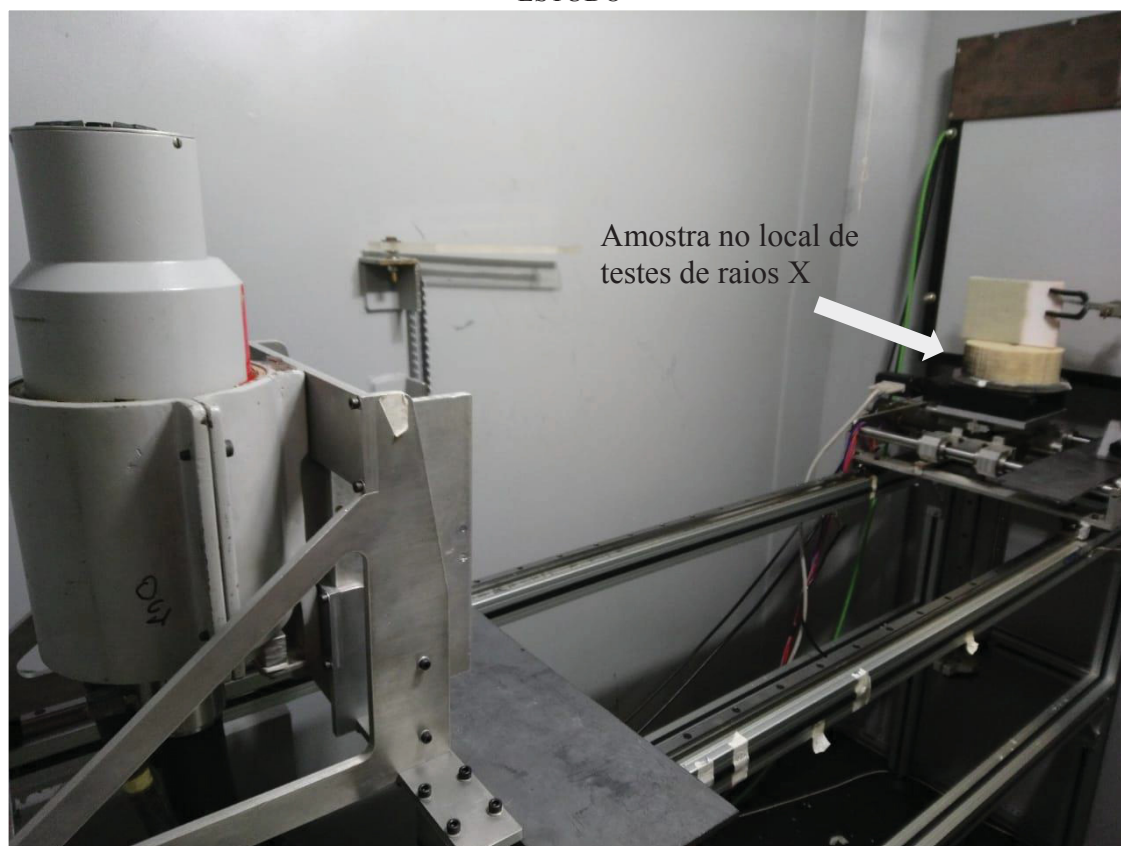
Nesta etapa foi realizado o EDS para o estudo dos mapas e espectro dos elementos químicos deste trabalho, sendo realizado no Centro de Microscopia eletrônica do Centro Politécnico da UFPR.

6.4 CARACTERIZAÇÃO QUANTO SUAS PROPRIEDADES DE ATENUAÇÃO

6.4.1 Testes de Raios X (Atenuação)

Para determinar os coeficientes de atenuação, foi utilizado o arranjo experimental no laboratório de Raios X do Instituto de Tecnologia para o desenvolvimento (Lactec) no Centro Politécnico da UFPR, sendo o conjunto de elementos utilizados, um gerador de raios X com flat panel x-ray detector (PerkinElmer XRD 1622 AP14) para geração de imagens de 16 bits. As tensões e a corrente utilizadas no tubo de raios X no SISTEMA CT2000, foram de 100 kV, 125 kV, 150 kV, 180 kV, 200 kV e por 1 mAs com resultados equivalentes a uma análise qualitativa. Quantifica-se a intensidade da radiação quando esta passa pela placa, e assim é possível estipular a associação que existe entre o coeficiente de atenuação e a espessura do material. Na FIGURA 28, é apresentado o interior do equipamento utilizado.

FIGURA 28- EQUIPAMENTO DE RAIOS X UTILIZADO PARA O ARRANJO EXPERIMENTAL DO ESTUDO



FONTE: A autora

6.4.2 Espessuras das amostras

O controle das espessuras das camadas, depois da deposição é extremamente relevante no aspecto da proteção radiológica, pois quanto maior é esta espessura, melhor será a qualidade da camada.

É importante, também, que a espessura deva ser o mais uniforme possível, por conta da possibilidade de variação de quantidade de exposição do material. No entanto este é um obstáculo factual, porque a deposição é feita manualmente e naturalmente ocorrem algumas variações nas espessuras das camadas depositadas.

Diante da TABELA 10 é possível verificar as espessuras das camadas (do revestimento junto com a cerâmica) das amostras analisadas.

TABELA 10 - ESPESSURAS DAS CAMADAS DAS AMOSTRAS ANALISADAS (m/m)

Numeração dada as cerâmicas	Extremidade 1	Meio	Extremidade 2	Média (mm)/Desvio padrão	FONTE: A autora
X	8,3	8,8	9,9	$9,0 \pm 0,8$	Cad a amo stra foi
IX	8,1	8,1	8,4	$8,2 \pm 0,2$	
VIII	8,0	8,0	8,3	$8,1 \pm 0,2$	
VII	7,7	7,8	7,5	$7,7 \pm 0,2$	
VI	7,2	7,6	7,4	$7,4 \pm 0,2$	
V	7,4	7,0	6,9	$7,1 \pm 0,3$	

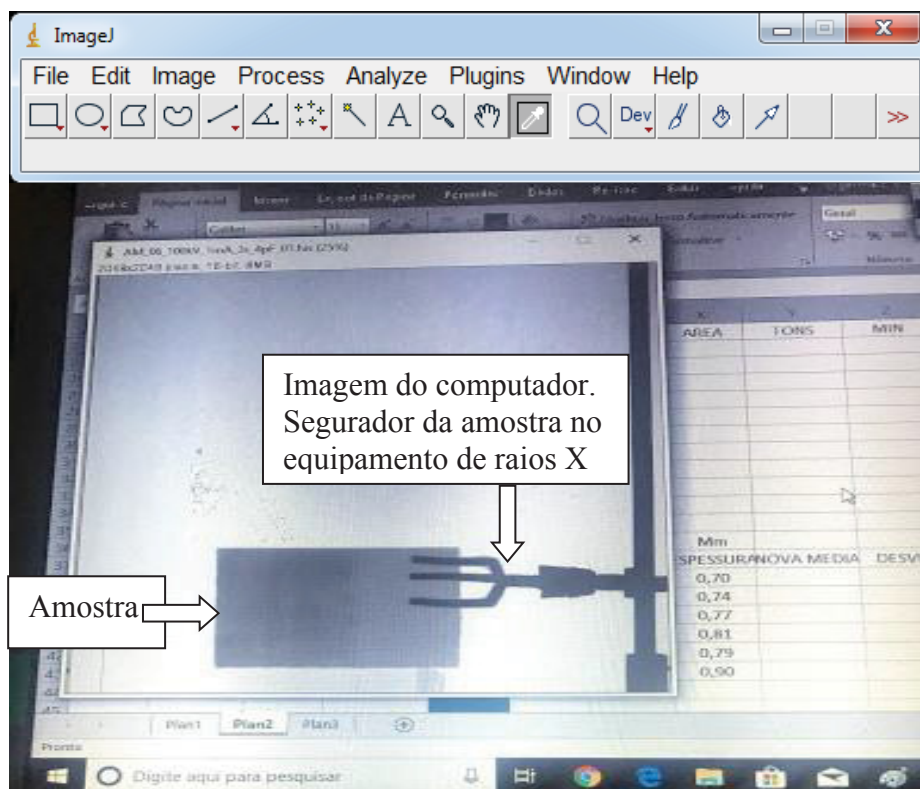
propositalmente revestida com uma espessura diferente para que se pudesse testar a atenuação referente a todas as espessuras, avaliadas e demonstradas no capítulo 7. Todas foram submetidas a medições de três partes para observação de heterogeneidade, o que é normal neste tipo de revestimento por Aspersão Térmica.

6.4.3 Análises de imagens

As análises das imagens radiográficas das amostras, foram realizadas pelo software ImageJ, que é uma ferramenta para a comunidade científica, um programa de processamento de imagens, projetado para imagens multidimensionais.

Por meio do programa IMAGEJ, foram analisadas, no computador, as imagens das amostras, apresentado na fotografia FIGURA 29, que forneceu os números para a construção dos gráficos das curvas de atenuação, com valores para várias partes da amostra, com esses valores foram realizados os cálculos no programa da Microsoft, EXCEL, a partir dos dados colhidos foi possível traçar as curvas de atenuação.

FIGURA 29- PROGRAMA IMAGEJ



FONTE:A autora

Foram analisados os coeficientes de atenuação das composições formuladas pela simulação do programa XCOM (NIST), 2019, apresentada na FIGURA 29. Neste banco de dados, foi possível obter dados de seção cruzada de fótons para um único elemento, composto ou mistura (uma combinação de elementos e compostos). Coeficientes de atenuação total com espalhamento coerente por energia para cada composição. Esta análise (comparação) é realizada pelo material de referência (chumbo) e pelo composto formulado, ambos com a energia de 0.001 a 100000 MeV. Com os dados obtidos, foram construídas as curvas de atenuação, no intervalo de energia a cada 0,01 KeV.

Coeficiente de atenuação expressa valores para diversos materiais, é levado em consideração a energia da radiação, a composição química do material ou a mistura de vários materiais. Posiciona-se o nome do elemento, composto ou mistura, é adicionada uma composição química, i.e., a porcentagem dos compostos, intervalos de energia e também a opção do modelo de gráfico que se necessita.

Utilizou-se deste programa computacional para obter coeficientes de atenuação de compostos distintos. As páginas deste programa estão dispostas na FIGURA 30, 31 e 32.

FIGURA 30 - DADOS 1 DO PROGRAMA XCOM

Address <http://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/html/xcom1.html> Go Links »

NIST
National Institute of
Standards and Technology
Physics Laboratory

XCOM

Element/Compound/Mixture Selection

In this database, it is possible to obtain photon cross section data for a single element, compound, or mixture (a combination of elements and compounds). Please fill out the following information:

[Help](#)

Identify material by:

- ☒ Element
- ☐ Compound
- ☐ Mixture

Method of entering additional energies: (optional)

- ☒ Enter additional energies by hand
- ☐ Additional energies from file (*Note: Your browser must be file-upload compatible*)

Submit Information Reset

FONTE: XCOM,2019

FIGURA 31- DADOS 2 DO PROGRAMA XCOM

Address <http://physics.nist.gov/cgi-bin/Xcom/xcom2> Go Links »

Enter the formulae and relative weights separated by a space for each compound. One compound per line. For example:

H2O 0.9
NaCl 0.1

Note: Weights not summing to 1 will be normalized.

Optional output title:

Graph options:

- ☒ Total Attenuation with Coherent Scattering
- ☐ Total Attenuation without Coherent Scattering
- ☐ Coherent Scattering
- ☐ Incoherent Scattering
- ☐ Photoelectric Absorption

Additional energies in MeV: (optional) (up to 75 allowed)

Note: Energies must be between 0.001 - 100000 MeV (1 keV - 100 GeV) (only 4 significant figures will be used).
One energy per line. Blank lines will be ignored.

☒ Include the standard grid

FONTE: XCOM,2019

FIGURA 32– DADOS 3 DO PROGRAMA XCOM

Address <http://physics.nist.gov/cgi-bin/Xcom/xcom2> Go Links »

Formula for compound (e.g. H2O for water):

Optional output title:

Graph options:

- ☒ Total Attenuation with Coherent Scattering
- ☐ Total Attenuation without Coherent Scattering
- ☐ Coherent Scattering
- ☐ Incoherent Scattering
- ☐ Photoelectric Absorption
- ☐ Pair Production in Nuclear Field
- ☐ Pair Production in Electron Field
- ☐ None

Additional energies in MeV: (optional) (up to 75 allowed)

Note: Energies must be between 0.001 - 100000 MeV (1 keV - 100 GeV) (only 4 significant figures will be used).
One energy per line. Blank lines will be ignored.

☒ Include the standard grid

Energy Range:

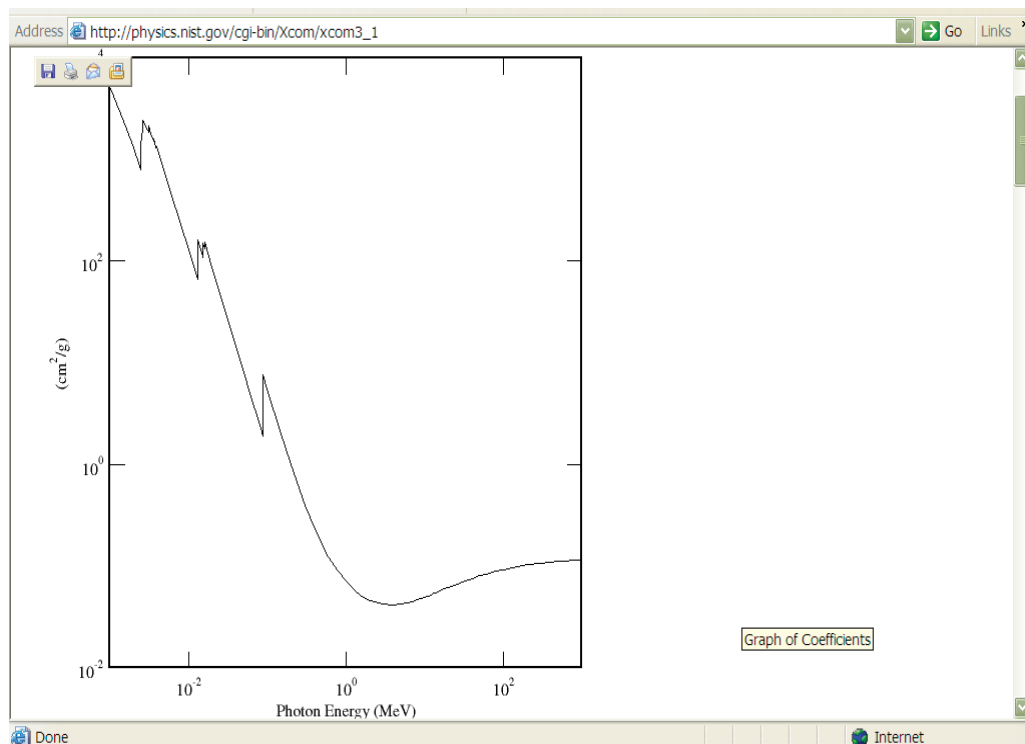
Minimum: MeV

Maximum: MeV

FONTE: XCOM,2019

Os resultados acontecem por meio de representação gráfica na tabela de dados conforme FIGURA 33 e 34.

FIGURA 33 - DADOS 4 DO PROGRAMA XCOM



FONTE: XCOM,2019

FIGURA 34 - DADOS 5 DO PROGRAMA XCOM

Address http://physics.nist.gov/cgi-bin/Xcom/xcom3_1 Go Links »

Atomic Number : 82

To download data in spreadsheet (array) form, choose a delimiter and use the checkboxes in the table heading. After downloading, save the output by using your browser's Save As feature.

Delimiter:

- ☒ space
- ☐ | (vertical bar)
- ☐ tab
- ☐ newline

Download data Reset

Edge	(required) Photon Energy MeV	Scattering		Photoelectric Absorption cm ² /g	Pair Production		Total Attenuation	
		<input type="checkbox"/> Coherent	<input type="checkbox"/> Incoherent		<input type="checkbox"/> In Nuclear Field	<input type="checkbox"/> In Electron Field	<input type="checkbox"/> With Coherent Scattering	<input type="checkbox"/> Without Coherent Scattering
		cm ² /g	cm ² /g		cm ² /g	cm ² /g	cm ² /g	cm ² /g
	1.000E-03	1.25E+01	3.59E-03	5.20E+03	0.00E+00	0.00E+00	5.21E+03	5.20E+03
	1.500E-03	1.20E+01	6.60E-03	2.34E+03	0.00E+00	0.00E+00	2.36E+03	2.34E+03
	2.000E-03	1.14E+01	9.62E-03	1.27E+03	0.00E+00	0.00E+00	1.29E+03	1.27E+03
	2.484E-03	1.09E+01	1.24E-02	7.90E+02	0.00E+00	0.00E+00	8.01E+02	7.90E+02
82 M ₅	2.484E-03	1.09E+01	1.24E-02	1.38E+03	0.00E+00	0.00E+00	1.40E+03	1.38E+03
	2.534E-03	1.08E+01	1.27E-02	1.64E+03	0.00E+00	0.00E+00	1.65E+03	1.64E+03
	2.586E-03	1.08E+01	1.30E-02	1.93E+03	0.00E+00	0.00E+00	1.94E+03	1.93E+03
82 M ₄	2.586E-03	1.08E+01	1.30E-02	2.44E+03	0.00E+00	0.00E+00	2.45E+03	2.44E+03

Done Internet

FONTE:XCOM,2019

6.5 ANÁLISES POR TERMOGRAFIA

Durante as aplicações de energias (kV) nas amostras, para verificação de atenuação do material, foram realizados alguns testes e obtidas imagens termográficas por meio de uma câmera específica, para a análise das diferenças de valor da intensidade de potência nos materiais, após a produção dos raios X enviados nas amostras.

Os termogramas com as imagens utilizadas para o ensaio, foram feitos por meio de uma câmera termográfica Therma CAM T400 (FLIR Systems Inc, North Billerica, Suécia), que possui um detector do tipo uncooled focal plane (FPA), i.e., micro bolômetro sem refrigeração de quarta geração com 320x240 pixels (76.800 pixels), que atua na faixa espectral de ondas eletromagnéticas entre 7,5 a 13µm, o que corresponde à faixa do infravermelho longo (FIR) para estudo na faixa de temperatura - 20°C até + 350°C. O equipamento permite obter imagens com resolução espacial (IFOV) de 1,4 mrad, para visualização de pontos quentes de 1,4 mm a distâncias de 1 metro, com lente padrão e sem lentes adicionais. A precisão de temperatura reportada pelo fabricante é de ± 1°C e resolução de temperatura de 0,05°C a 30°C.

O programa software utilizado para encontrar as medidas máximas de energia de potência, foi o Flir Tools, capaz de modificar a emissividade, dependendo do material

utilizado e para este trabalho foi aplicada a medida de energia radiante (W), que é a quantidade de energia emitida por um objeto por unidade de tempo. Neste estudo houve uma mistura de materiais e não se poderia quantificar um valor para emissividade, no software, então foi utilizado a energia radiante (W), segundo as equações de Stefan-Boltzmann, já mencionadas anteriormente neste trabalho. A equação de Boltzmann, na câmera de termografia, pode transformar a energia radiante para temperaturas em graus Celcius, quando se menciona a emissividade do corpo a ser estudado (calibração da câmera).

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presente pesquisa teve o objetivo de estudar a possibilidade de um revestimento com a técnica de aspersão térmica, chama a pó, para vir a melhorar a proteção em ambientes radiológicos relacionadas com radioproteção.

Objetivou-se inovar em materiais e misturas, novas tecnologias para um revestimento que auxilie na blindagem, i.e., diminuição de riscos ocupacionais por profissionais e pessoas envolvidas com a radiação, sem a necessidade de modelos complexos, como placas de chumbo entre paredes ou concretos, na construção de ambientes que necessitam de radioproteção.

A continuação encontra-se o registro das atividades realizadas durante a pesquisa, a qual por ser inédita não tinha suporte experimental, principalmente pela utilização do chumbo e das misturas dos pós, via aspersão térmica.

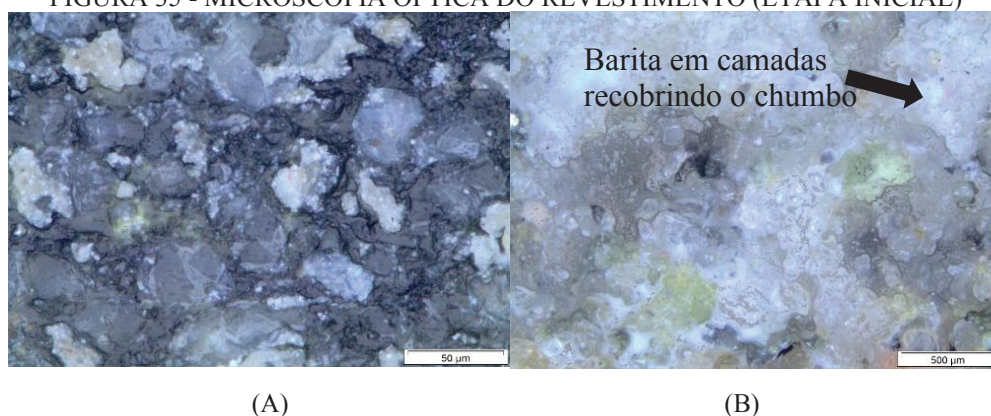
7.1 CARACTERIZAÇÕES PRELIMINARES

Alguns resultados já foram observados ao longo do primeiro ano de trabalho e pode-se citar o início de caracterização de alguns corpos de prova já então preparados.

7.1.1 Microscopia óptica (preliminar)

A FIGURA 35(A) ilustra a amostra do material analisado (revestimento) com imagem aumentada 200 vezes, já a FIGURA 35 (B) apresenta a mesma amostra com imagem aumentada em 500 vezes, por microscopia óptica, sequencialmente foram realizadas outras técnicas de caracterização, e.g., MEV, EDS, DRX, para verificação da composição microestrutural e química do material depositado.

FIGURA 35 - MICROSCOPIA ÓPTICA DO REVESTIMENTO (ETAPA INICIAL)



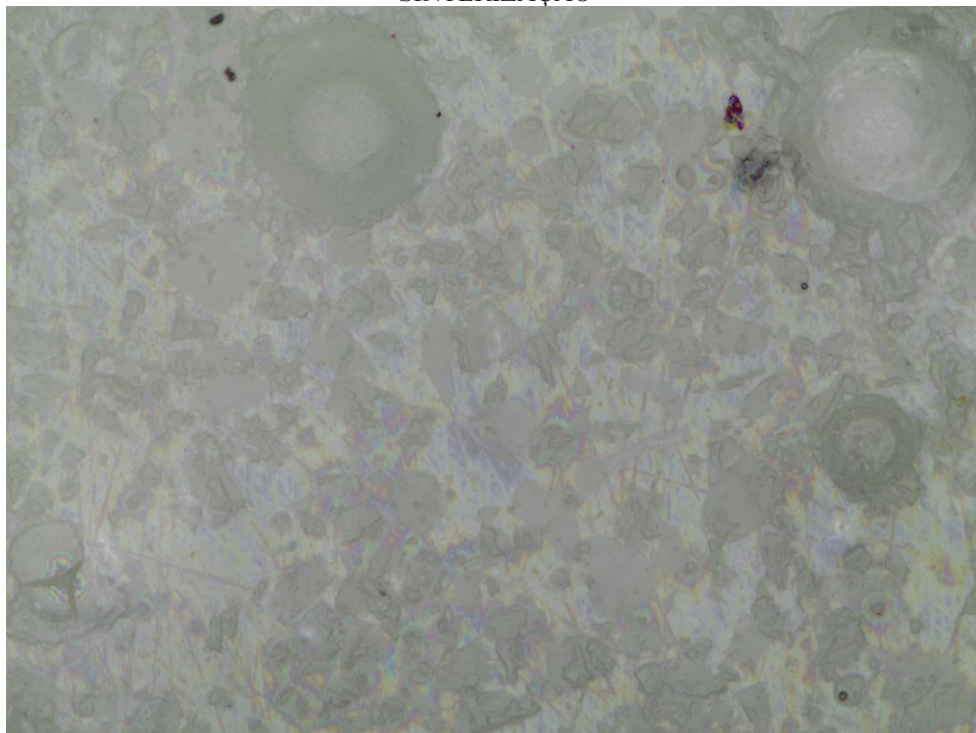
FONTE: A autora

Conforme relatado no trabalho de Sucharski et al., 2011, comentado na seção 2.4, em um revestimento organizado com aspersão térmica, as partículas depositadas no substrato e então chamadas de panquecas, se adaptam a este fundamento (substrato), formando em camadas, um revestimento, como ocorreu nas amostras estudadas neste trabalho. Na FIGURA 35(A) percebe-se as panquecas achatadas mas em tamanhos desordenados, algumas partes de Barita recobre o chumbo formando algo parecido com mistura mecânica heterogênea, sem ocorrer fusão dos materiais.

Observa-se nas imagens uma visão morfológica do revestimento estudado, nos cristais de barita misturados com os cristais de chumbo. Pode-se perceber, visualmente, a semelhança dos pós depositados da FIGURA 35(B), comparados com a barita demonstrada na FIGURA 10 da seção 2.2.1, com visualização da espessura.

A FIGURA 36 mostra superficialmente as partículas depositadas na base de azulejo (biscoito). Partes dos elementos químicos encontrados são partículas de barita que se unem a partes de chumbo e dos demais elementos formados na mistura do revestimento, na amostra. Tais elementos são facilmente visualizados nas imagens de EDS, quando da segmentação do revestimento conforme as fases e estruturas presentes.

FIGURA 36–MORFOLOGIA DA MISTURA DOS PÓS DE Pb E BaSO₄ FORMADA APÓS SINTERIZAÇÃO

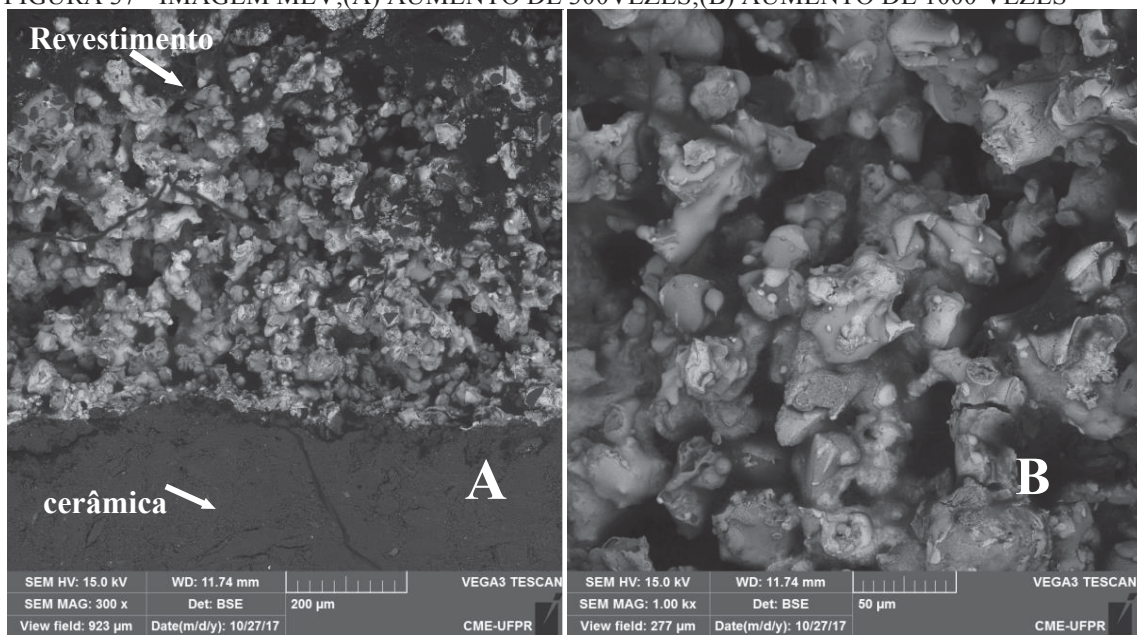


FONTE: A autora.

7.1.2 Microscopia eletrônica de varredura (preliminar)

A FIGURA 37 ilustra imagens realizadas por MEV, que examinou a superfície da amostra, permitindo a obtenção de informações micro-estruturais das mesmas. Estas imagens foram realizadas no revestimento depositado, e pode-se perceber que há uma tendência de porosidade que foi estudado posteriormente, na segunda etapa. Nota-se que a figura à esquerda refere-se a uma imagem com aumento de 300 vezes sendo possível visualizar as partículas sobre o substrato (cerâmica) e a figura à direita exibe as partículas bem maiores e com aumento de 1000 vezes, podendo perceber o tamanho médio das mesmas. Elas se adaptam ao substrato formando as panquecas que neste caso revelam-se como deformações dos pós, o que é característico de baixa molhabilidade (espalhamento).

FIGURA 37 - IMAGEM MEV;(A) AUMENTO DE 300VEZES;(B) AUMENTO DE 1000 VEZES

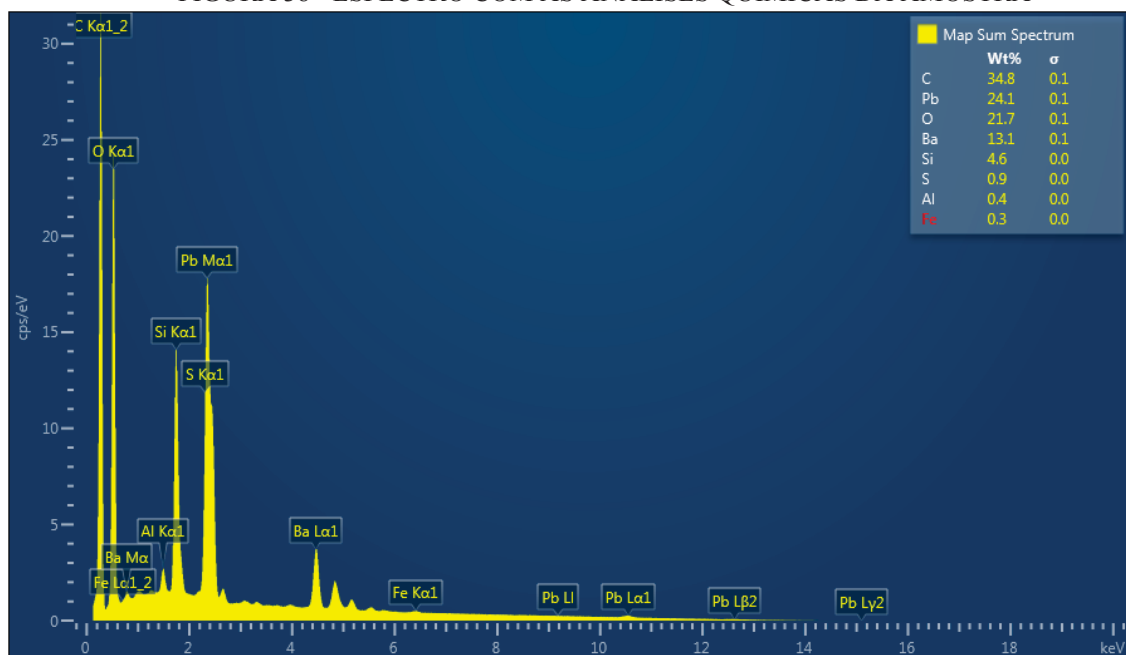


FONTE: A autora.

7.1.3 Espectroscopia dispersiva (preliminar)

Juntamente com o MEV foi realizada a análise pela técnicaEDS, a imagem apresentada na FIGURA 39 refere-se ao espectro geral da amostra.

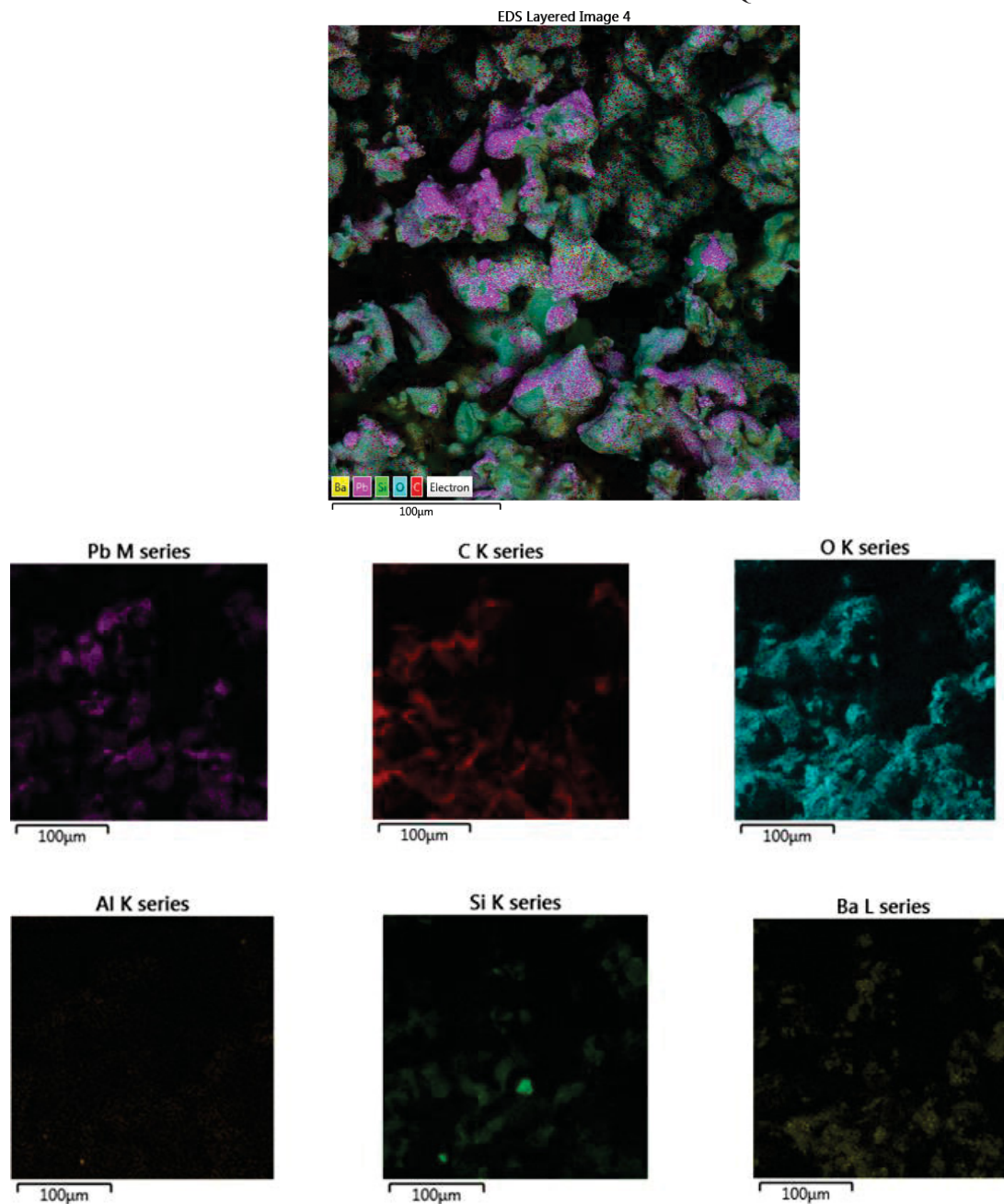
FIGURA 38 - ESPECTRO COM AS ANÁLISES QUÍMICAS DA AMOSTRA



FONTE: A autora

A FIGURA 39 apresenta as imagens obtidas pelo EDScom a demonstração do mapa de elementos químicos, orientado por cores correspondentes aos elementos.

FIGURA 39 - EDS MAPA DE ELEMENTOS QUÍMICOS



FONTE: A autora (2017).

Espectro EDS é uma técnica analítica usada para caracterização química do experimento, demonstrando os picos de cada elemento na imagem. É um espectro completo de uma amostra de forma simultânea, obtendo-se uma análise qualitativa dos constituintes. Os picos, no espectro da 40, representam as composições químicas do material, cada qual com

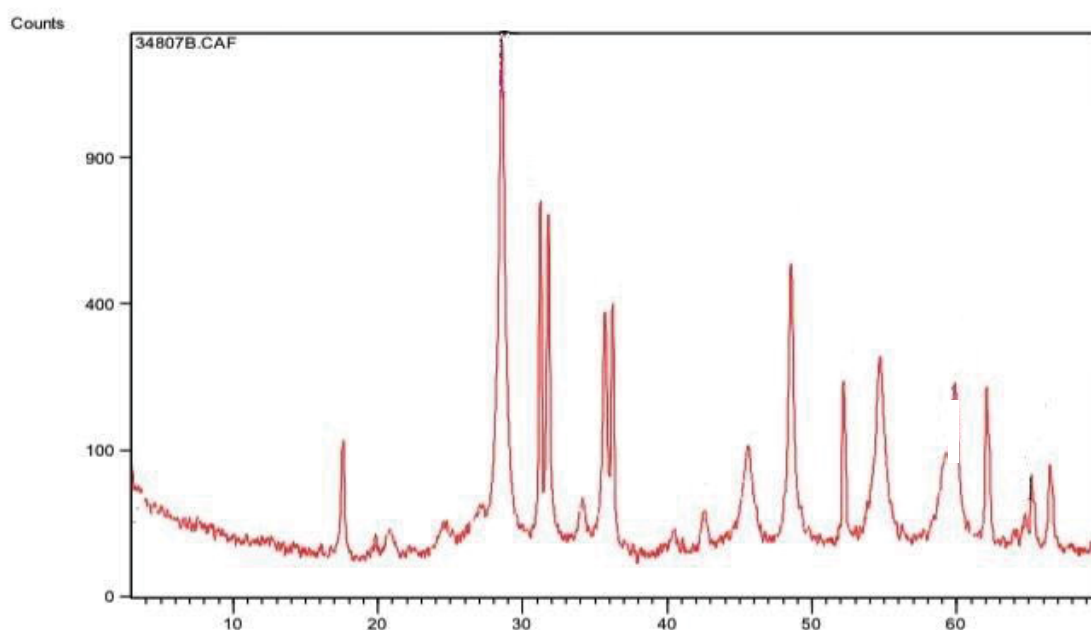
seu tamanho, revelados na parte superior direita da figura. Essa mistura é composta por Carbono (C), chumbo (Pb), Oxigênio (O), Bário (Ba), Silício (Si), Enxofre (S), alumínio (Al), o elemento ferro (Fe) tem uma porcentagem insignificante no material, provavelmente adquirido por contaminação do moinho de ferro. O mapa revela todas as cores em seu interior e as cores são separadas por unidade para maior compreensão dos elementos químicos existentes na amostra

Nas identificações, pode-se mostrar as cores com seus devidos elementos, a cor roxa sendo identificada como o chumbo, a cor vermelha demonstra o elemento carbono, azul representa o oxigênio, o alumínio é representado pela cor dourada, verde mostra o silício e bário a cor amarela.

7.1.4 Difração de raios X (preliminar)

As imagens dos espectros das figuras 40 e 41 demonstram os picos realizados por DRX das primeiras análises realizadas pelo método de difração de raios X. Cada DRX representa os pós separados e antes de qualquer trabalho realizado.

FIGURA 40 – DIFRAÇÃO DE RAIOS X DO RESÍDUO DE PÓ DE CHUMBO



FONTE: Os autores.

Na TABELA 11 é demonstrado o resultado dos elementos presentes no chumbo caracterizado por DRX.

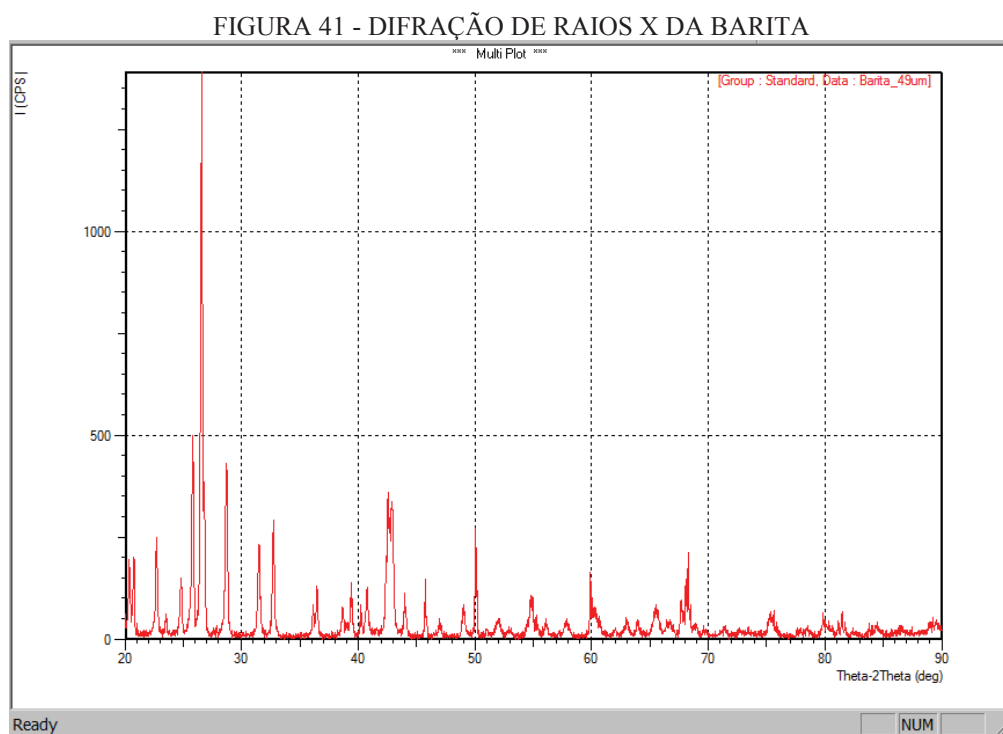
TABELA 11 - COMPONENTES DEMONSTRADOS NO DRX DO ELEMENTO CHUMBO

Código de Referência	Nome do Componente	Fórmula Química
78-1666	Óxido de chumbo	PbO
65-2873	Chumbo	Pb

Fonte: A autora.

Com o estudo por difratometria dos raios X, pode-se perceber os principais picos resultantes na amostra de chumbo, esses obtidos com os padrões internacionais, International center for Diffraction Date (ICDD). O material oxida facilmente na presença de oxigênio e em temperatura ambiente, portanto não se pode mensurar a quantidade de oxido de chumbo e de chumbo metálico presentes na amostra, pelo processo de difração de raios X.

Na FIGURA 41 é apresentada a imagem referente ao estudo da amostra do pó de barita com análise mineralógica, com padrões internacionais (ICDD).



FONTE: A autora

Na TABELA 12 é demonstrada a composição química presente no pó de barita avaliado por DRX.

TABELA 12 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA PRESENTE NO PÓ DE BARITA

Elementos	Porcentagem
BaSO ₄	77,30%
SiO ₂	20,6%
Al ₂ O ₃	30,58%
Fe ₂ O ₃	30,23%

FONTE: A autora.

Nesta fase inicial, a barita ocupa a maior parte do material dividindo com uma porcentagem de óxido de silício e ainda uma porção menor de óxido de alumínio e óxido de ferro.

7.2 RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA DAS CARACTERIZAÇÕES

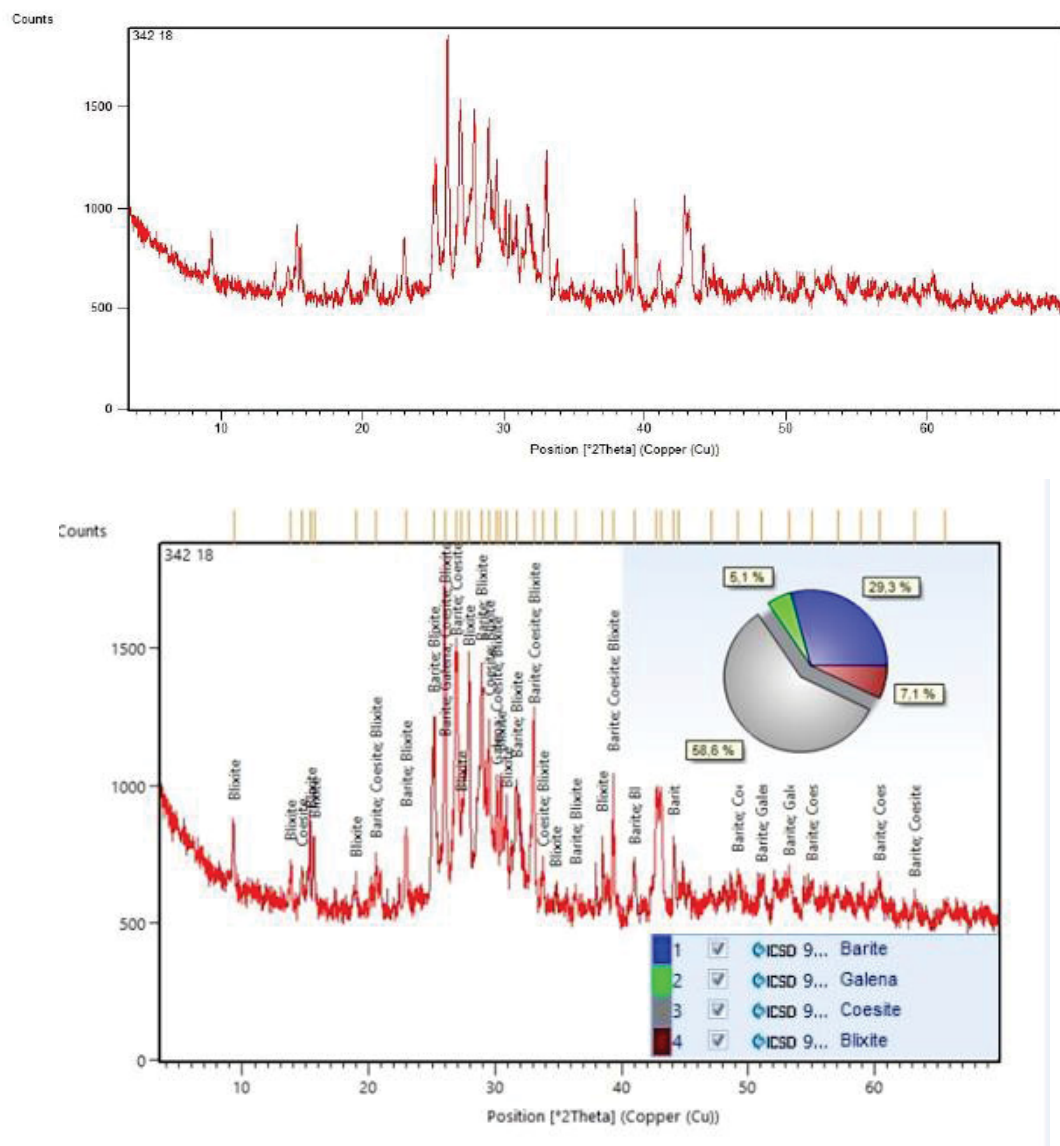
A primeira etapa foi muito importante para a escolha de parâmetros em todos os testes, o que foi decisivo para se chegar aos resultados adquiridos na etapa final (segunda etapa). A caracterização, nesta segunda etapa, foi determinante para a seleção apropriada dos materiais, no que se refere ao desempenho do estudo, sendo várias as técnicas utilizadas e pode-se compreender sobre as aplicações tecnológicas do material envolvido.

7.2.1 Difractometria de raios X

Na primeira etapa foram analisadas as difratometrias de raios X, dos materiais em pó separados, e obteve-se as respostas das análises químicas destes, na segunda etapa foram realizados os DRXs dos materiais misturados em pó e do revestimento pronto cobrindo a cerâmica, este realizado pelo processo de Aspersão Térmica, chama pó.

A imagem demonstra a quantificação semiquantitativa por difratometria de raios X, onde foram encontradas as misturas correspondentes aos elementos químicos do revestimento de Pb e de BaSO₄, espectro demonstrado na FIGURA 42, análise realizada por difratômetro PANalytical X'Pert³ Powder. A TABELA 13 apresenta as fases encontradas na análise.

FIGURA 42- DIFRATOMETRIA DE RAIOS X, DAS MISTURAS DO PÓ DE BARITA COM O PÓ DE CHUMBO



FONTE: A autora.

TABELA 13 - FASES IDENTIFICADAS DA MISTURA DO PÓ DE BARITA COM PÓ DE CHUMBO

Composição	Mineralógica
Barita	BaSO ₄
Coesite	SiO
Galena	PbS
Blixite	Pb ₂ ClO ₂ (OH)

FONTE: A autora.

Nesta fase do estudo, na avaliação da mistura de barita com chumbo, pode-se observar, por meio dessas análises, uma fase de galena(PbS) foi formada, outra fase chamada blixite, cuja fórmula $Pb_2ClO_2(OH)$ também foi formada, sendo algumas de suas propriedades relatadas abaixo:

- Galena - mineral cuja fórmula é PbS, sulfato metálico cor cinza, chumbo, dureza vickers: $2\frac{1}{2}$ na escala de mohs,

$$vhn\ 100 = 79 - 104\ kg / mm^2 - vickers \quad (4)$$

- A dureza vickers (vh) é então determinado pela razão entre a carga (kgf) e a área superficial da impressão (mm^2);
- Tenacidade frágil, densidade: $37,58\ g / cm^3$ (medido) $7,57\ g / cm^3$ (calculado);
- Sistema de cristal: isométrico, morfologia: cubos, octaedros, combinações cubo-octaedro e raramente dodecaedros;
- Geminação: espinélio, lamelar espinélio {111}, lamelar {114}, classe: hexa octaédrica, Z: 4. (MINDAT.ORG, 2019).

Com o DRX realizado, obteve-se também a $BaSO_4$, sendo: Sulfato de bário fórmula $BaSO_4$, mineral não metálico, dureza Vickers: 3 na escala de Mohs, cor: incolor, branco, amarelo, marrom, cinza, azul, etc .; incolor na luz transmitida (também amarelo, marrom, verde, azul, etc.) sistema de cristal: ortorrômbico, morfologia: normalmente são encontrados como grossos a finos cristais tabulares, geralmente em aglomerados com os cristais crescendo paralelos uns aos outros, tenacidade: frágil, fratura: irregular / desigual, densidade: $4,50\ g / cm^3$ (medido) $4,50\ g / cm^3$ (calculado) sistema de cristal: ortorrômbico, Z:4, classe: dipirâmida.

A Coesita (ou Coesite) SiO_2 também aparece na mistura sinterizada. É uma forma (polimorfo) de dióxido de silício, cor: incolor, dureza vickers: $7\frac{1}{2} - 8$ / escala de Mohs, sistema de cristal: monoclinico, fratura: Sub-Conchoidal, densidade: $2,92\ g / cm^3$ (calculado), sistema de cristal: monoclinico, classe (HM): 2 / m – prismático, Z:16, morfologia: irregular para grãos retangulares.

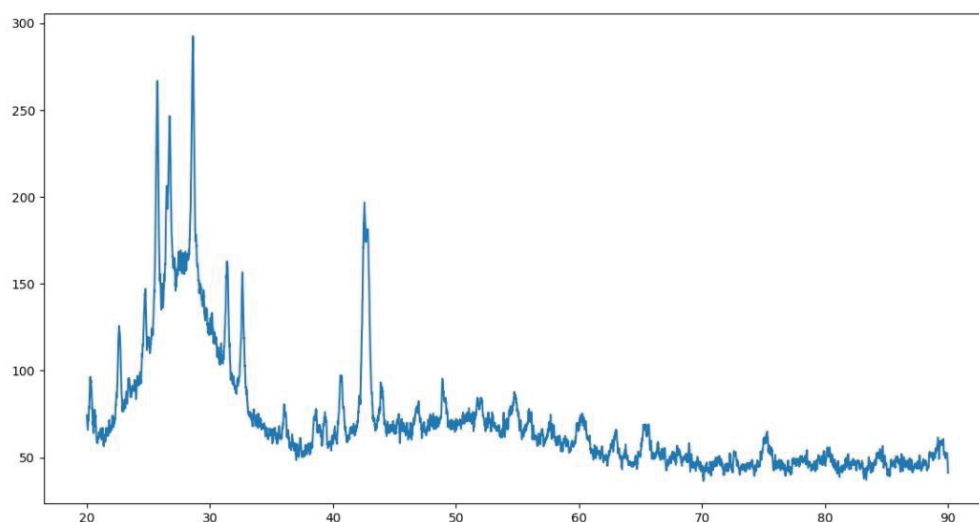
Blixite - Mineral cuja fórmula é $\text{Pb}_2\text{ClO}_2(\text{OH})$, Amarelo pálido, amarelo alaranjado a amarelo acinzentado, dureza 3 na escala de Mohs, Densidade: 7,35 g /cm³ (Medido), sistema de cristal Ortorrômico, Z:8, Morfologia maciço em filmes.(MINDAT.ORG, 2019).

Todos os compostos são importantes para a formação da fase ocorrida no material estudado. Sua formação teve resultados relevantes para o revestimento final com bons resultados para a atenuação dos raios X.

Na FIGURA 43 é apresentado o resultado das análise pelo método de DRX a partir da mistura já depositada por AT, sobre a cerâmica, e que retrata o revestimento formado.

FIGURA 43 - REVESTIMENTO EM CERÂMICA CRUA ANALISADO POR DRX

Figure 1



FONTE: A autora.

Nesta etapa do estudo pode-se perceber a presença de uma fase nova chamada Barito-anglesita(Pb, Ba SO_4), que ocorre devido a mistura de todos os elementos encontrados, ele é formado pelos materiais PbSO_4 e BaSO_4 , com a estrutura cristalina dos dois compostos, iguais, a posição do Ba e do Pb, sendo intercambiáveis. No processo alguns átomos de chumbo tomaram posição do bário na barita, por isso tem-se o pico duplo, muito próximos, dentro das regiões de barita, no revestimento.

Apesar da análise EDS, não pode-se encontrar facilmente regiões identificadas como óxidos. Os padrões de difração do pó utilizado na fabricação do material de aporte por fim o revestimento final acusam a presença de óxidos de chumbo. Esse não estando em sua localização padrão em revestimentos, geralmente nos contornos de panqueca (partícula), deve

estar presente preso na matriz de chumbo, sendo sua origem identificada no pó de chumbo reciclado utilizado para produção do material de aporte.

Outras fases identificadas foram a Coesita, advinda de contaminação do pó de Barita, como pode ser visto no padrão do material. A Barita, que através do processo de sinterização teve difusão de átomos de chumbo para dentro de si, formando uma solução sólida com o chumbo agindo como átomo substitucional nas posições do Bário na rede cristalina.

O padrão DRX do revestimento pode ser visto na FIGURA 44. As fases identificadas no padrão DRX podem ser vistas na TABELA 14.



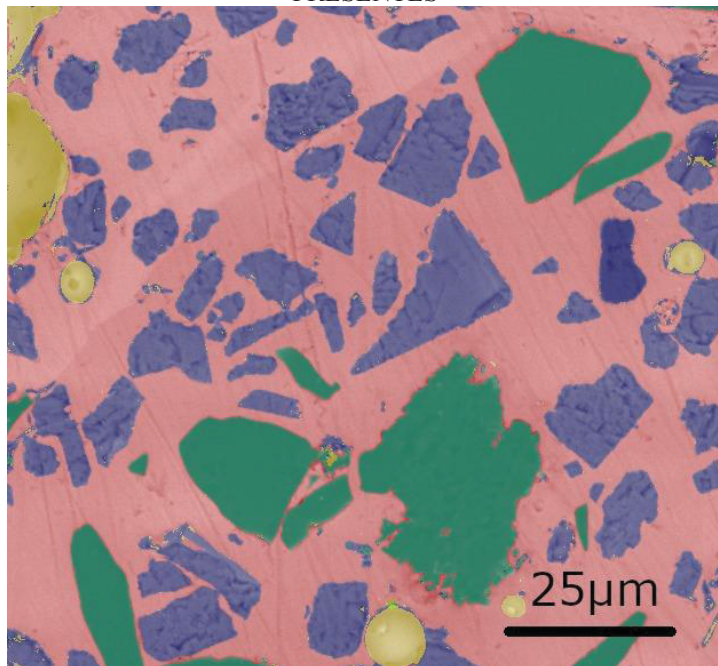
FONTE: A autora

TABELA 14 - FASES IDENTIFICADAS NO REVESTIMENTO

Composição	Mineralógica
Barita	BaSO ₄
Coesite	SiO
Barito-anglesita	(Pb, Ba) SO ₄
Oxido de chumbo	PbO ₂
Chumbo	Pb

FONTE: A autora

FIGURA 45 - SEGMENTAÇÃO DO REVESTIMENTO CONFORME AS FASES E ESTRUTURAS PRESENTES



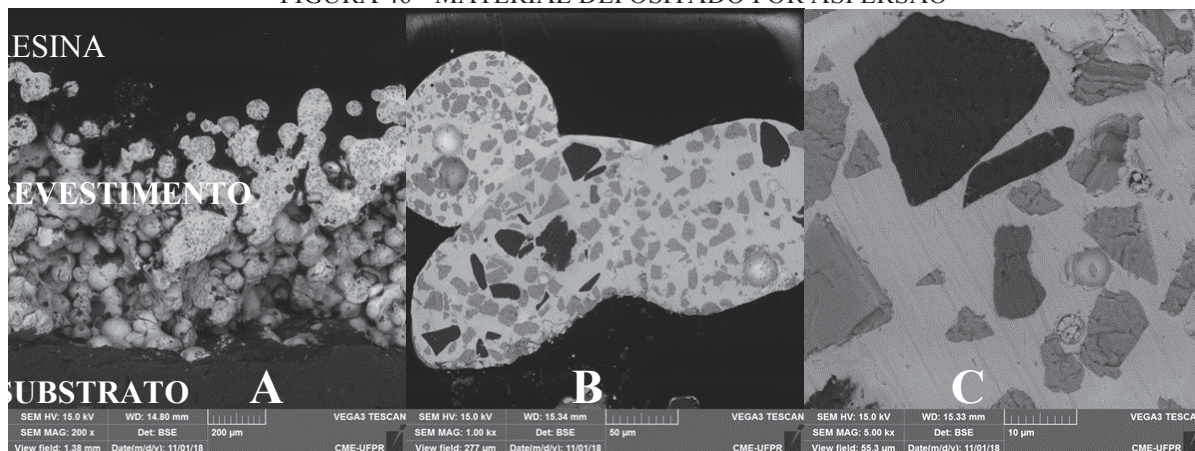
Legenda: Vermelho [Chumbo]matriz; Amarelado [Poros]; Verde [Coesita]; Azul [Barita]

FONTE:A autora

7.2.2 Microscopia eletrônica de varredura

A FIGURA 46 elucida a investigação das imagens dos materiais depositados, com os tamanhos aumentados de 200 (A), 1000 (B) e 5000 (C) vezes. A FIGURA 48 apresenta um aumento de 25.000 vezes o seu tamanho original.

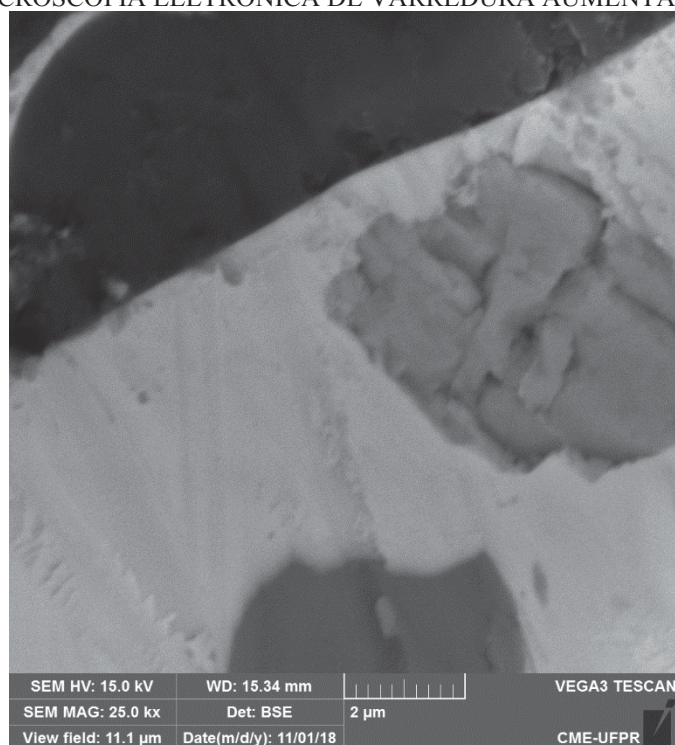
FIGURA 46 - MATERIAL DEPOSITADO POR ASPERSÃO



FONTE: os autores

Cada segmento representa uma fase estruturada presente no material; a primeira imagem FIGURA 46(A) demonstra o revestimento embutido na resina, conforme demonstrado nesse trabalho na FIGURA 22; A FIGURA 46 (B) mostra um grão, e a FIGURA 46 (C) mostra a segmentação apresentada na legenda da FIGURA 45.

FIGURA 47 - MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA AUMENTADA 25.000VEZES



FONTE: A autora

Observa-se na imagem A da FIGURA 47, que há poros no revestimento, no entanto, isto pode ser interessante para o resultado de atenuação deste revestimento, pois quando um feixe de raios X atravessa um material, seus fótons podem interagir com os átomos de diferentes formas. Existem alguns fatores que podem influenciar na interação da radiação com a matéria, por exemplo, a espessura do material, a densidade do mesmo, a energia do fóton incidente, o número atômico do material.

Estas interações dos raios X, e.g. efeito compton, fotoelétrico, espalhamento coerente, podem ocorrer e percebe-se que em cada interação nas paredes dos poros, seja possível que ocorra uma diminuição da energia, aumento no comprimento de onda, durante o trajeto do feixe no material, fato este relacionado com o efeito de espalhamento e absorção de energia. Isto pode explicar o fato do material poroso atenuar de modo eficiente neste estudo, quando relacionado com atenuação.

Outro aspecto que pode vir a explicar a razão pela qual houve boa atenuação é que os poros não apresentados de maneira contínua, pois os poros estão espalhados e se sobrepondo um ao outro. Esta atenuação está associada com a EQUAÇÃO 3 mencionada neste trabalho na seção 2.

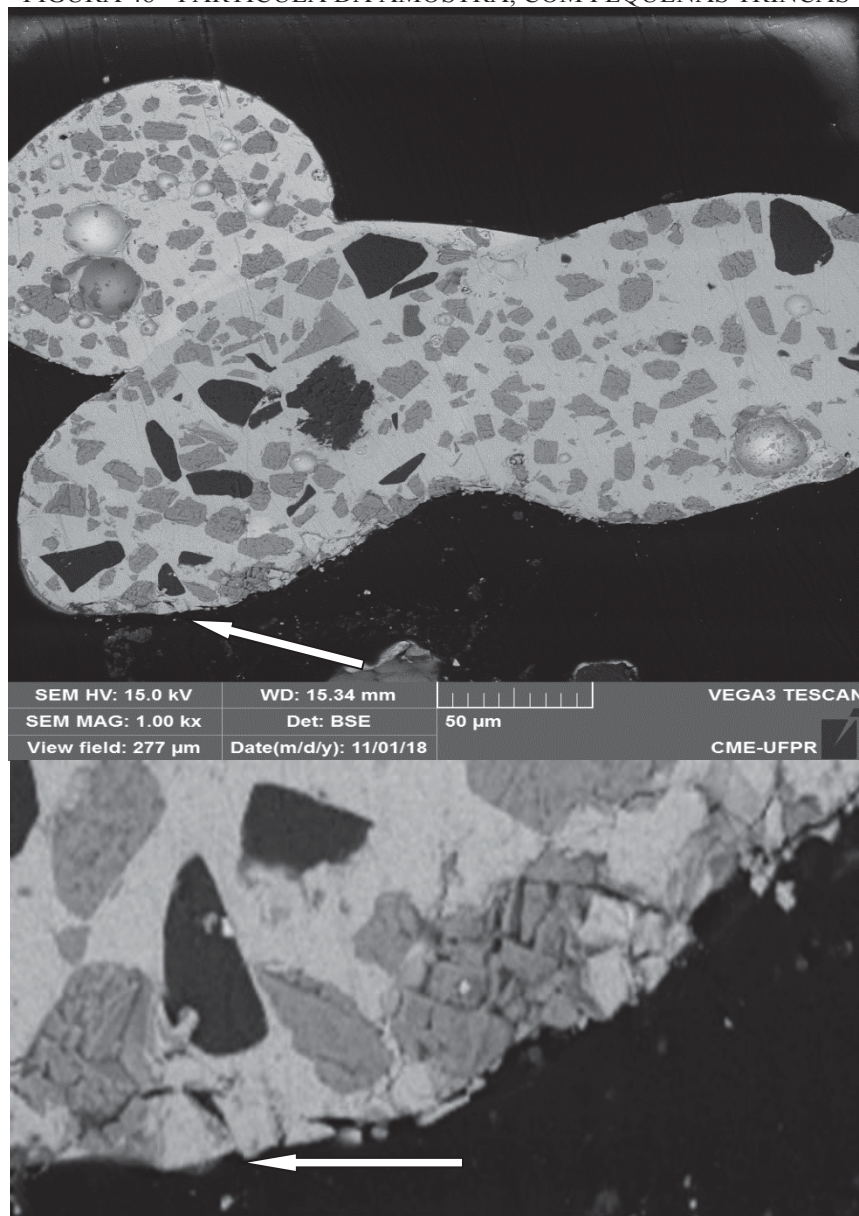
A quantidade de energia depositada por uma radiação ionizante, depende da natureza química do material envolvido e de sua massa específica e esta ocorrência é atômica e não molecular. Os fótons do feixe sempre são removidos nos processos e ocorre a atenuação dos feixes de raios X. a probabilidade de ocorrer efeitos nas interações depende da energia do fóton e da composição do material de absorção, e isto se relaciona com o coeficiente de atenuação.

Nesta vista transversal do revestimento, depositado por AT, observa-se um agrupamento dos elementos nas partículas, nas imagens (B) e (C) da FIGURA 46. Na FIGURA 46 (A), onde é demonstrado o substrato a resina e o revestimento, percebe-se as deformações nos pós, o que é característico de espalhamento. A FIGURA 48 apresenta uma imagem aumentada em 25000 vezes, onde pode-se perceber os segmentos do pó, mostrando uma segmentação embutida de elementos na partícula.

A partir das imagens realizadas do revestimento, obtido após o processo de aspersão térmica, chama a pó, foi possível observar que as partículas absorveram o calor da chama da pistola, que possibilitou a fundição destas ao ponto de se aglomerarem com o arraste causado pelo o ar comprimido.

Conforme as partículas foram se aproximando do substrato, estas foram se resfriando até a chegada ao mesmo, somando com a morfologia mais arredondada e com a densidade alta do chumbo, dificultaram a capacidade de arraste pelo gás de transporte (nitrogênio), que resultaram na falta de empacotamento e ação de achatamento no impacto final, de encontro ao substrato ou na partícula já depositada anteriormente. Além disso, é possível observar pequenas trincas em alguns contornos de partículas, sendo provável afirmar a fragilidade do oxido de chumbo após o resfriamento. De acordo com a FIGURA 48, percebe-se com maior clareza as pequenas trincas mencionadas.

FIGURA 48 - PARTÍCULA DA AMOSTRA, COM PEQUENAS TRINCAS



FONTE: A autora.

7.2.3 Espectroscopia de energia dispersiva

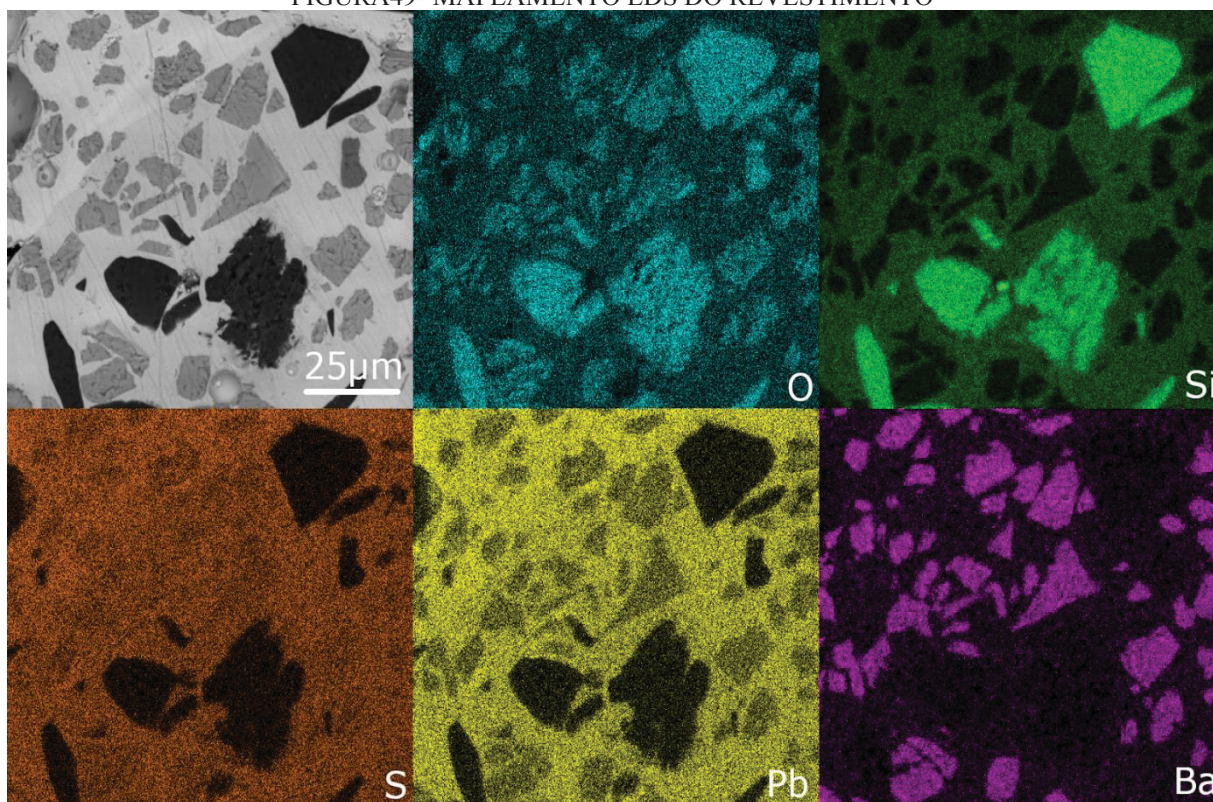
Avançando nos estudos por meio da técnica de espectroscopia de energia dispersiva, pode-se perceber a distribuição dos compostos químicos dos materiais depositados no substrato de cerâmica, de acordo com a imagem em camadas e pelo espectro constatado.

Por meio de imagens obtidas por EDS obteve-se a distribuição dos elementos químicos presentes no revestimento obtido, revelando assim a distribuição de fases e permitindo a observação dos fenômenos de transporte durante o processo de fabricação do pó

e aspersão. Os elementos identificados pela análise foram Bário(Ba), Chumbo(Pb), Oxigênio(O), Enxofre(S), Silício(Si).

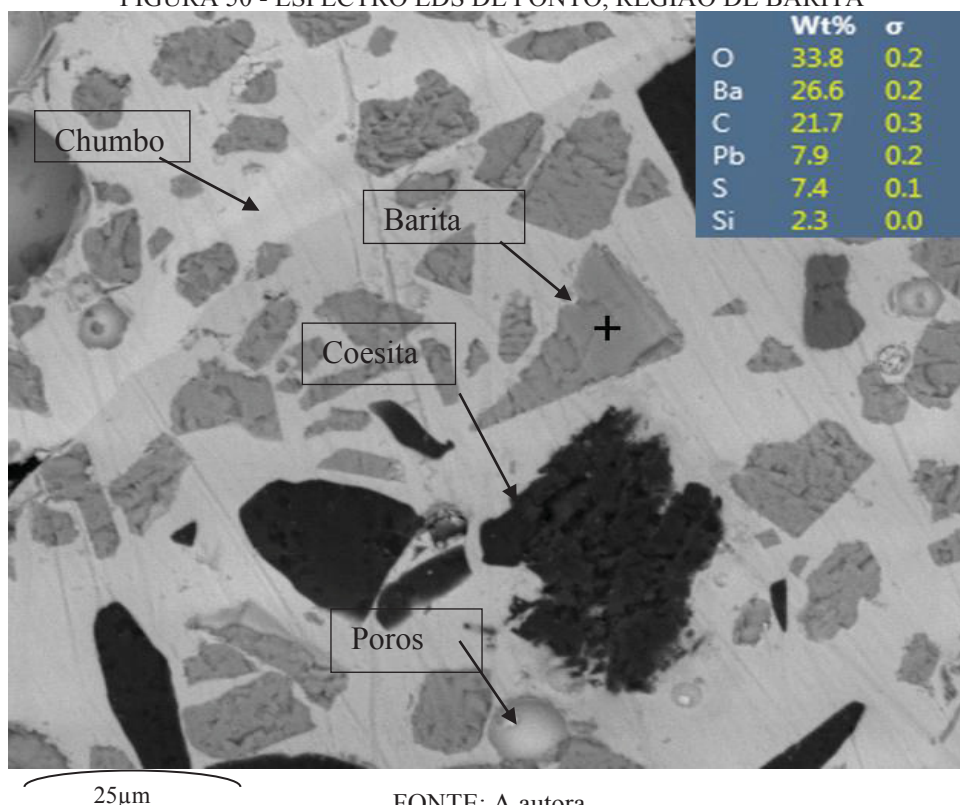
A partir dessas imagens podemos identificar as diferentes fases e compostos presentes no revestimento. Na imagem de EDS apresentada na FIGURA 49, com várias figuras, podemos perceber as composições químicas destacadas em cada uma delas, e a partir da FIGURA 50 pode ser observado, que as partículas depositadas são constituídas de uma matriz de chumbo com enxofre em solução sólida, matriz de Barita(BaSO_4) e Coesita (SiO_2). Nas regiões de Coesita podemos perceber a presença quase pura de Oxigênio e Silício o que é esperado de um composto de ligação covalente. Enquanto nas regiões de Barita, porém, percebemos a presença de chumbo, avaliado em 7.9% em peso por uma análise de EDS em ponto (+).

FIGURA49- MAPEAMENTO EDS DO REVESTIMENTO



FONTE: A autora.

FIGURA 50 - ESPECTRO EDS DE PONTO, REGIÃO DE BARITA

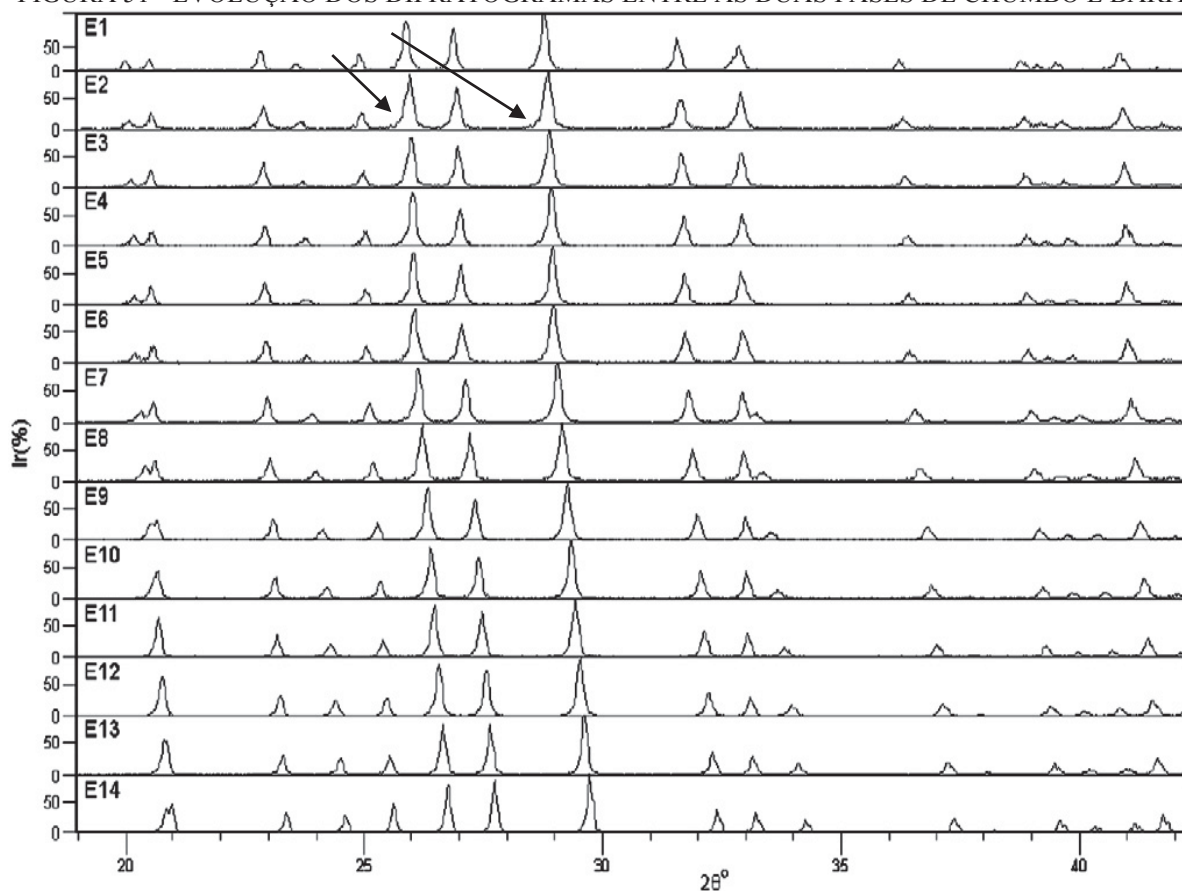


FONTE: A autora.

Essa presença pode ser justificada pela existência de dois tipos de ligação dentro do composto BaSO_4 , nesse composto temos um grupo formado por ligação covalente SO_4^{2-} e o grupo metálico Ba^{+2} , e entre eles temos uma ligação covalente. A altas temperaturas átomos de chumbo(Pb^{+2}) podem tomar a posição do Bário nessa estrutura, formando anglesita(PbSO_4), este arranjo, quando encontrada na natureza, tem o nome de Barito-Anglesita(Pb,BaSO_4).

Lee(2005) provou a possibilidade de obtenção de compostos com todas as composições possíveis entre BaSO_4 e PbSO_4 ao contrário das pequenas quantidades geralmente encontradas na natureza. A Barita apresentando sua célula unitária, nesta célula então, de 1 a 4 átomos de Barita podem ser substituídos pelos átomos de Chumbo. Em seu trabalho González(2013) obteve os padrões de difração de DRX para diferentes quantias de Chumbo na Barita, mostrando a evolução dos difratogramas entre as duas fases, esse desenvolvimento pode ser visto na FIGURA 51. Nela podemos perceber a tendência de movimentação da posição dos picos de difração para maiores ângulos (Movimentação para a direita) conforme maior o conteúdo de chumbo, o que é explicado pela maior presença de Chumbo que diminui os parâmetros da célula unitária.

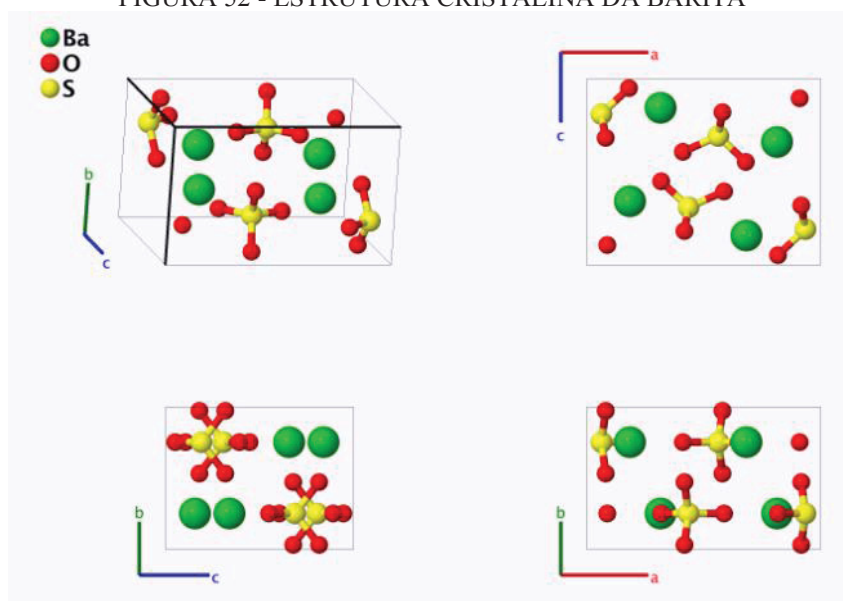
FIGURA 51 - EVOLUÇÃO DOS DIFRATOGRAMAS ENTRE AS DUAS FASES DE CHUMBO E BARITA



FONTE: González (2013).

Um efeito semelhante pôde ser observado nos modelos ao se comparar os padrões de DRX do pó de barita utilizado na confecção do material de aporte com o padrão do revestimento obtido (FIGURA 52). Nesses exemplos podemos ver que os picos de Barita aumentam de área, indicando a difusão de um elemento em sua estrutura, além da maior tendência de crescer para ângulos maiores (crescer para a direita), o que concorda com as investigações de González e as observações feitas pela análise por EDS, confirmando a formação de Barito-Anglesita no revestimento.

FIGURA 52 - ESTRUTURA CRISTALINA DA BARITA

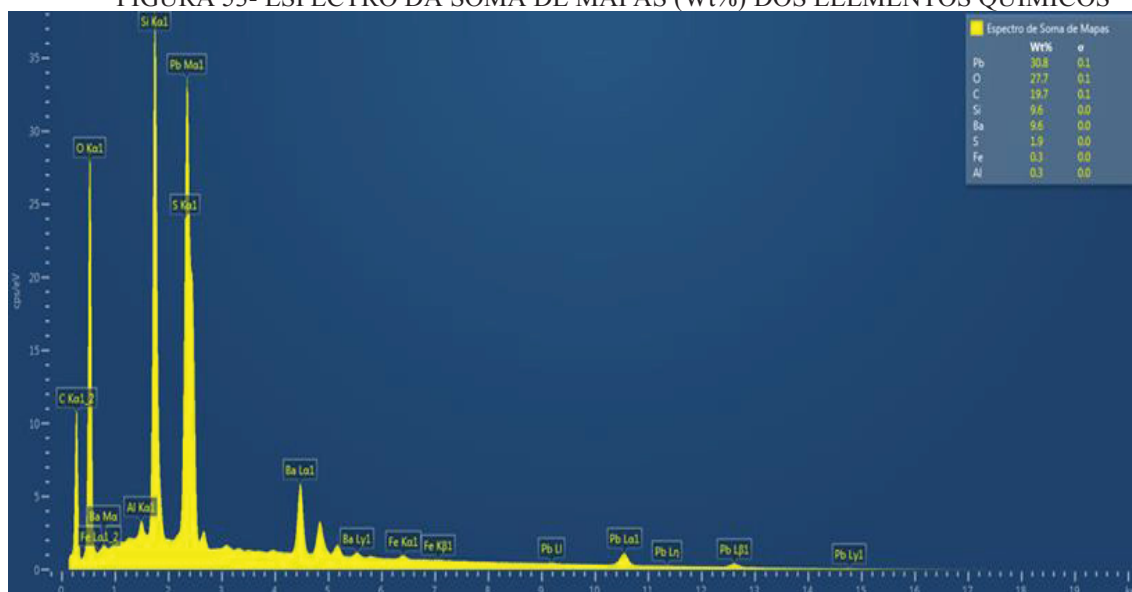


FONTE: MJ Mehl, et al. (2017), D.Hickset al. (2019).

É de extrema importância o uso da espectroscopia de energia dispersiva, em conjunto com o microscópio eletrônico de varredura, enquanto o MEV proporciona imagens nítidas para o estudo das microestruturas, o EDS permite sua identificação demonstrando o mapeamento da distribuição das fases encontradas no material.

A FIGURA 53 permite a observação do espectro, EDS contendo os picos que demonstram os elementos químicos presentes na amostra, compatíveis com o mapa reportado na FIGURA 51.

FIGURA 53- ESPECTRO DA SOMA DE MAPAS (Wt%) DOS ELEMENTOS QUÍMICOS



FONTE: A autora..

A TABELA15 apresenta as porcentagens de composição química a partir do espectro do EDS.

TABELA 15 - PORCENTAGEM (Wt%) DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE ELEMENTOS DO REVESTIMENTO.

ELEMENTO	WT%
Pb	30.8
O	27.7
C	19.7
Si	9.6
Ba	9.6
S	1.9
Fe	0.3
Al	0.3

FONTE: A autora.

7.2.4 Caracterização quanto as propriedades de atenuação

Os revestimentos foram caracterizados e avaliados quanto a suas propriedades de atenuação aos raios X, experimentalmente, para traçar as curvas de atenuação em função da espessura do revestimento, mostrando-se capaz de atuar como barreira de proteção.

Quando se trata de caracterização por atenuação dos raios X, nos materiais, envolve-se o coeficiente de atenuação que mede a parcela de radiação efetivamente retirada do feixe por espalhamento e a absorção é dada em função da sua energia, do número atômico do material utilizado e da densidade do mesmo.

A TABELA 16 apresenta os resultados dos Índices de Atenuação (I/I_0), em função das espessuras, das amostras dos azulejos de cerâmica revestidos.

TABELA 16 ÍNDICES DE ATENUAÇÃO COM SEUS RESPECTIVOS VALORES DE ENERGIA E DESVIO PADRÃO EM FUNÇÃO DAS ESPESSURAS(I/I₀) (ADIMENSIONAL)

Amostras	Espessuras	100KV (I/I ₀)	125KV (I/I ₀)	150KV (I/I ₀)	180KV (I/I ₀)	200KV (I/I ₀)
0	0,0	1,000 ± 000,0	1,000 ± 000,0	1,000 ± 000,0	1,000 ± 000,0	1,000 ± 000,0
V	7,1	0,52 ± 255,5	0,59 ± 405,4	0,70 ± 579,4	0,89 ± 601,8	0,98 ± 439,5
VI	7,4	0,41 ± 168,4	0,47 ± 364,1	0,60 ± 654,7	0,73 ± 655,7	0,87 ± 690,8
VII	7,7	0,33 ± 364,8	0,38 ± 574,2	0,45 ± 349,1	0,62 ± 104,7	0,76 ± 836,1
VIII	8,1	0,28 ± 403,4	0,33 ± 633,9	0,39 ± 922,1	0,55 ± 792,0	0,62 ± 164,7
IX	8,2	0,24 ± 163,5	0,28 ± 363,9	0,32 ± 719,5	0,46 ± 507,9	0,57 ± 762,3
X	9,0	0,14 ± 142,4	0,16 ± 228,9	0,19 ± 477,3	0,28 ± 779,4	0,33 ± 636,2

FONTE:A autora.

As imagens de 16 bits, analisadas pelo ImageJ representadas através de valores médios de níveis de cinza, tem o valor máximo sem atenuação, 65536 (branco). Com os dados das intensidades mensuradas nas radiografias e a distância que é percorrida pelos feixes de Raios X, pode-se obter as curvas de atenuação para os materiais estudados.

Para avaliar a homogeneidade dos revestimentos nos azulejos, bem como a atenuação, foram expressos para cada imagem, os valores dos tons de cinza em função dos pixels da imagem. O valor 65536 representa a cor branca e o valor zero representa a cor preta. Quanto mais os pontos se aproximam de zero, mais atenuante será o material estudado.

A TABELA 17 apresenta os valores obtidos para o coeficiente de atenuação linear (μ) das amostras analisadas por meio dos testes de raios X, com as energias de 100kV, 125kV, 150kV, 180kV e 200 kV. Esta composição está de acordo com a equação 1, Lei de Beer Lambert, que representa a intensidade de um feixe de raios X, após atravessar uma espessura x de um material absorvedor.

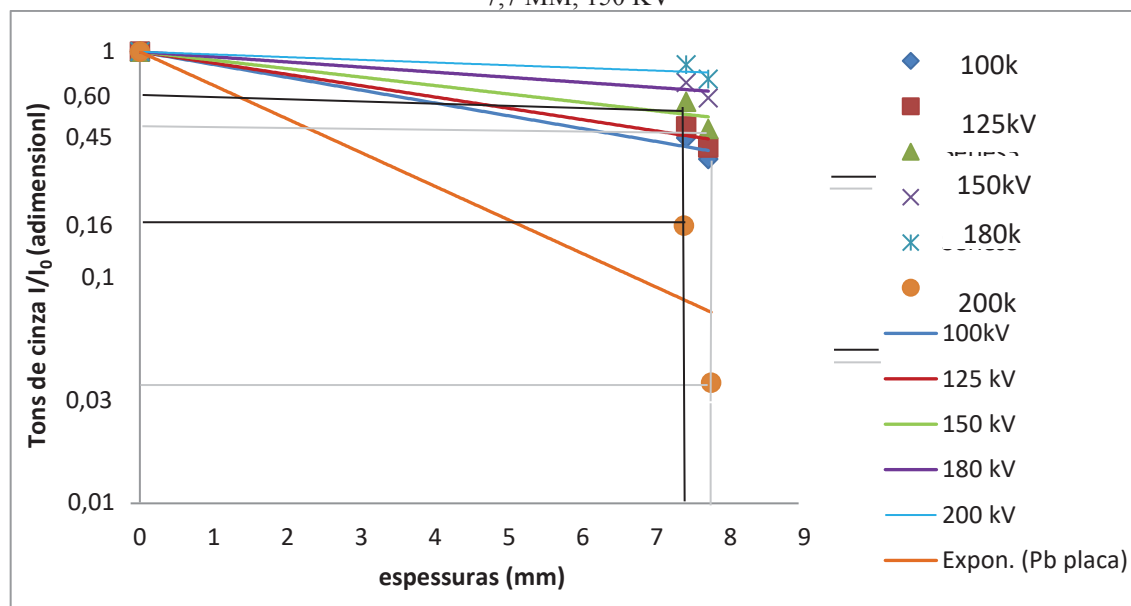
TABELA 17 - CARACTERÍSTICAS DA ATENUAÇÃO (REVESTIMENTOS E PLACA DE CHUMBO REFERÊNCIA) DE ACORDO COM AS ENERGIAS

Energy (Kv)	μ (cm-1)	R2
100	0,028	0,757
125	0,052	0,9151
150	0,086	0,9004
150	0,344	0,8094
180	0,116	0,9687
200	0,131	0,9773

FONTE: Os autores.

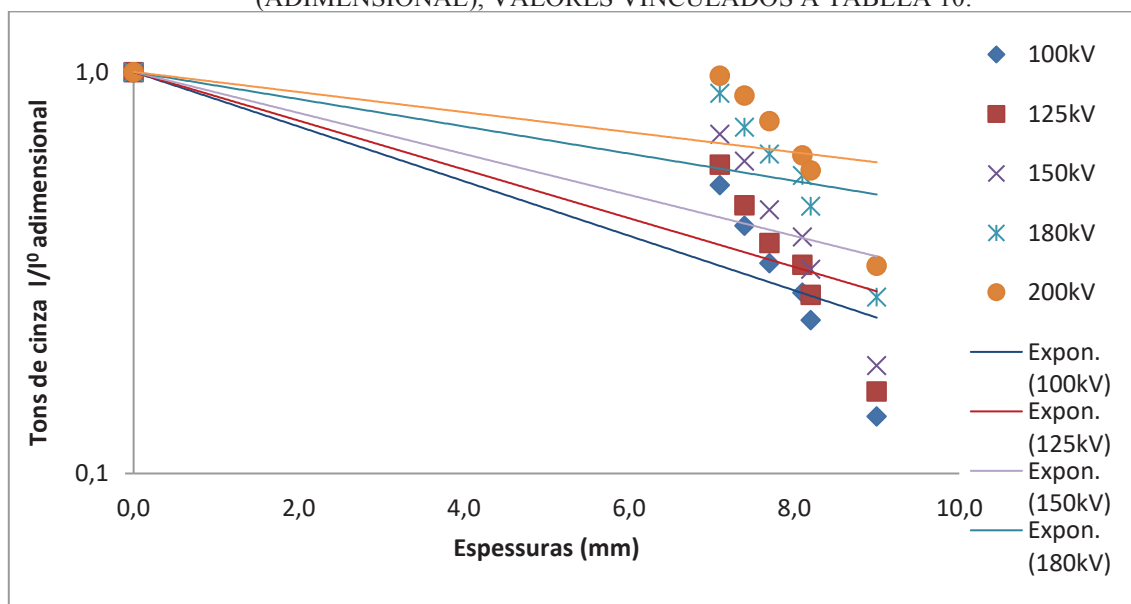
Nas FIGURAS 54 e 55 são demonstrados, por meio de gráficos, as comparações do revestimento estudado com uma lâmina de chumbo quando sua energia aplicada foi de 150kV/1 mAs, e a FIGURA 55 evidencia o gráfico da atenuação em relação as espessuras e seus tons de cinza (adimensional).

FIGURA 54 -COMPARAÇÃO DA ATENUAÇÃO NO REVESTIMENTO E PLACA DE CHUMBO EM AMOSTRAS DE CERÂMICA CRUA, COM AS ESPESSURAS E ENERGIA SELECIONADAS DE 7,4 E 7,7 MM, 150 KV



FONTE: Os autores.

FIGURA 55 - CURVAS DE ATENUAÇÃO RELACIONADAS COM A ESPESSURA E TONS DE CINZA (ADIMENSIONAL), VALORES VINCULADOS À TABELA 10.



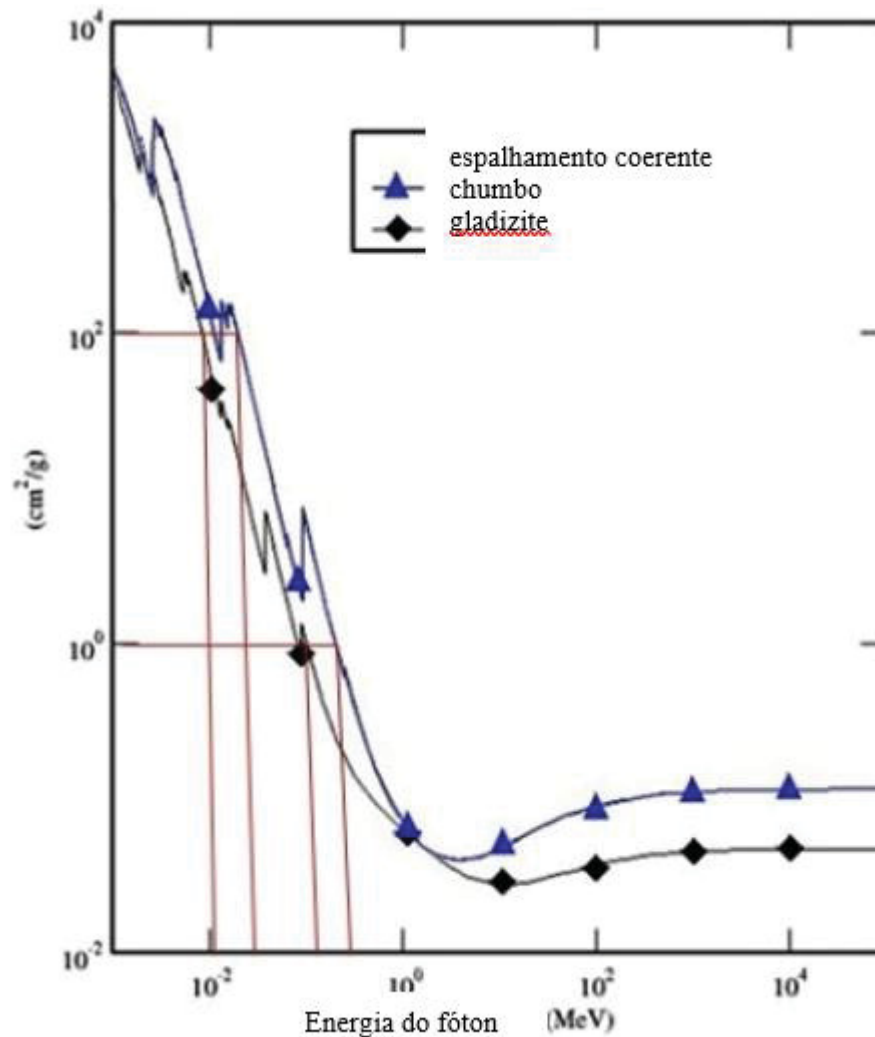
FONTE: A autora.

Com o resultado da análise por difratometria de raios X (DRX) demonstrado na FIGURA 51, foram encontradas as misturas correspondentes aos elementos químicos do material de Pbe de BaSO₄ misturados, em forma de pó, formando um compósito chamado Gladisita, a partir disso foi gerado o gráfico de comparação do chumbo com a mistura dos pós, obtidos por meio de moagem da pedra após a sinterização da mistura da barita e chumbo.

Com os resultados da análise por difratometria de raios X pode-se organizar o modelo matemático realizado pelo programa XCOM e o traçado das curvas de atenuação para a comparação do material compósito (mistura formada (Gladisita)) com o chumbo, material de referência.

Avaliando-se as curvas de atenuação em massa, da mistura adquirida juntamente com a do chumbo, que é material de referência, pode-se afirmar que o chumbo é mais atenuante, quando se refere a exposição aos raios X, a fase Gladisita está próxima da curva do chumbo e atinge um bom desempenho quanto a atenuação da radiação X. O gráfico do estudo se apresenta na FIGURA 56. No modelo matemático é desprezado o substrato cerâmico.

FIGURA 56 - CURVAS DE ATENUAÇÃO EM MASSA X ENERGIA PARA MATERIAL DE REFERÊNCIA E COMPÓSITO REFERENTE AOS PÓS MISTURADOS

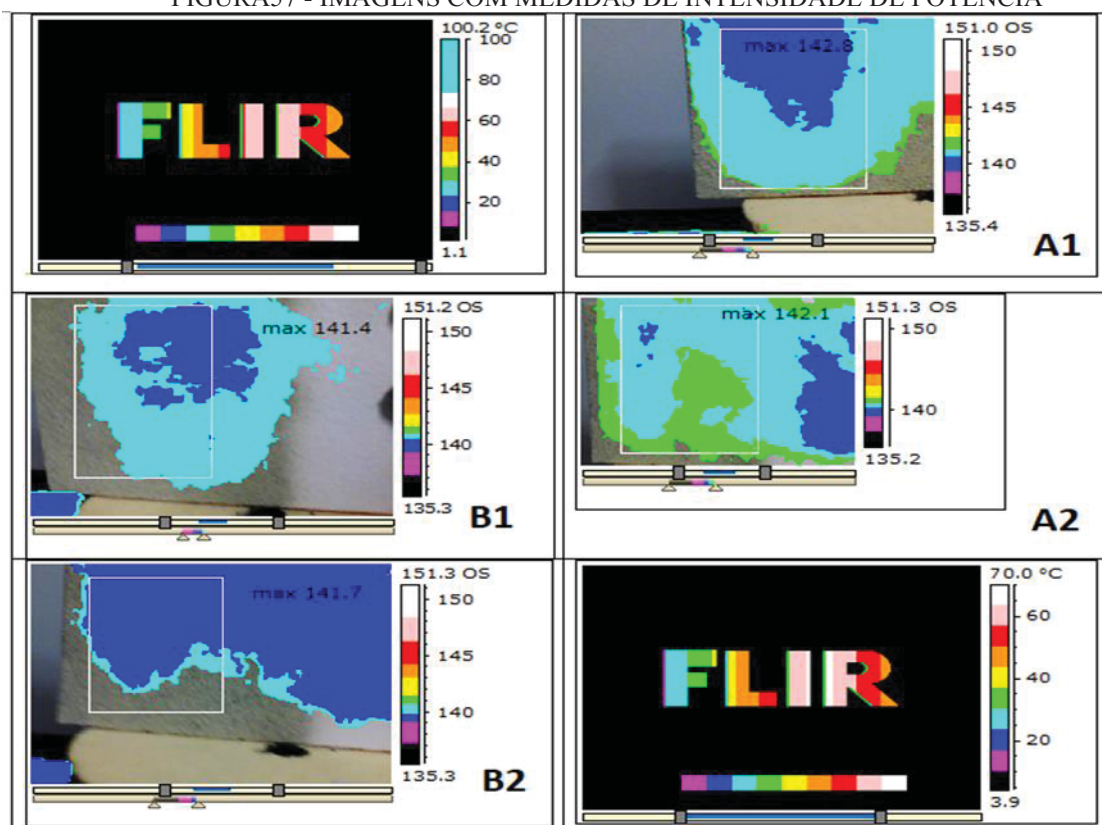


FONTE: A autora.

7.3 ANÁLISES PELA TECNOLOGIA DE TERMOGRAFIA

Nos resultados do estudo Termográfico, para verificação das diferentes energias radiantes (W), pode-se verificar que as temperaturas destas amostras estudadas tiveram modificações das suas energias, i.e., os resultados dessas medições demonstraram que o método de dissipação primário nas peças é por convecção externa e que a o valor da intensidade de potência tem um sensível aumento, conforme o melhor resultado de eficiência da atenuação. A FIGURA 57 ilustra a variação da intensidade depois da irradiação de raios X, conforme o valor de kV aplicado nas amostras, pelos termogramas analisados.

FIGURA57 - IMAGENS COM MEDIDAS DE INTENSIDADE DE POTÊNCIA



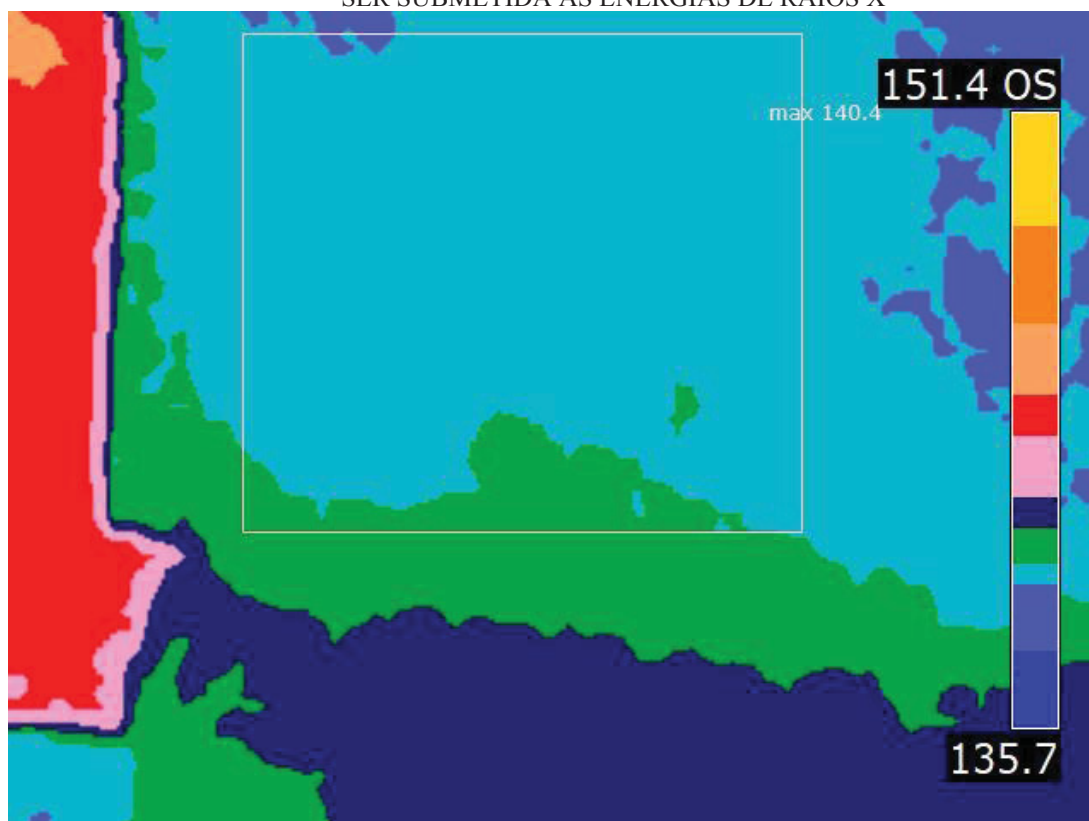
FONTE A autora.

A primeira imagem analisada, chamada de FIGURA 57 (A1) com aplicação de 100 kVs de energia, amostra com a espessura de 90 mm, demonstra 142.6 W de energia radiante, a FIGURA 57 (B1) da esquerda, com emissão de 180 kVs e com a mesma espessura, mostra 141.4 W de intensidade de potência, a FIGURA 57 (A2) com espessura de 8,1 mm que sofreu emissão de 100 kVs possui 142.1 W de potência energética e a imagem denominada FIGURA57 (B2) com energia emitida de 100 kVs e espessura 8,1 mm ilustra uma energia radiante de 141.1 W.

Pode-se perceber que quanto maior a espessura do material, mais atenuação ocorre e demonstra que as moléculas estão em maior movimentação e que quanto menor é a energia de raios X (kV) emanada na amostra, maior também é a atenuação, demonstrando que a movimentação das moléculas é significativamente maior. Isto significa que quando a atenuação é eficiente, a energia (raios X) fica armazenada na amostra, já que grande parte da energia X não atravessou o material.

Na FIGURA 58 é demonstrada a máxima potência energética mensurada em uma imagem (termograma) da amostra antes de entrar na câmera de raios X.

FIGURA 58 - TERMOGRAMA COM ANÁLISE DE ENERGIA RADIANTE DA AMOSTRA ANTES DE SER SUBMETIDA AS ENERGIAS DE RAIOS X



FONTE: A autora.

8 CONCLUSÕES

O processo de Aspersão Térmica chama a pó, mostrou-se eficiente quanto a realização do revestimento. Mesmo quando este apresentava poros, a atenuação foi satisfatória (principalmente quando se trata da maior espessura realizada), porque ocorre nas paredes dos poros alguns efeitos no momento das interações da radiação com a matéria, efeitos estes que podem ser explicados pelos efeitos que ocorrem no material como efeito Comptom, por exemplo.

Houve formação de uma fase chamada gladisitana mistura do pó de chumbo e barita (sinterizada e moída). No revestimento houve a formação de uma fase chamada barita anglesita ((Pb, Ba)SO₄).

O ensaio de atenuação mostrou que o revestimento melhorou a absorção dos raios X nos materiais cerâmicos, portanto, recomendado como barreiras de proteção e blindagem contra radiações ionizantes (raios X) em ambientes hospitalares, odontológicos e industriais.

9 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Um estudo mais amplo no que se refere as radiações gama e espessuras maiores para as amostras experimentais.

Uma análise depositando as misturas por Aspersão Térmica com as técnicas HVOF e ColdSpray por ser processos que obtem revestimentos de menor porosidade.

Uma questão interessante para avaliar futuramente, seria a questão dos rejuntas entre os azulejos, o que poderia ser facilmente resolvido com uma pistola de Aspersão Térmica no local da construção, recobrindo estes rejuntas com o próprio pó do revestimento.

REFERÊNCIAS

ABS – Associação Brasileira de soldagem / **Curso de metalização**. 1994.

ABNT NBR/IEC 61331-1. **Dispositivos de proteção contra radiação-X para fins de diagnóstico médico - Parte 1: Determinação das propriedades de atenuação de materiais**. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004.

ABNT NBR 10004. Resíduos sólidos – Classificação. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004.

ABNT NBR 10005. Lixiviação de resíduos - Procedimento. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004. 5

ABNT NBR 10006. Solubilização de resíduos - Procedimento. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004

ALMEIDA JUNIOR, A. T. de. **Caracterização de argamassas de barita como blindagens contra a radiação X e determinação experimental dos coeficientes de atenuação desses materiais**. 2014. 135 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

ANDREUCCI, R.; **Proteção radiológica, Aspectos industriais**, Ed. Janeiro, SP, 2016.

ANDRIGHETTO, Daniela; LÜDKE, Everton. **Use of clinical practice as a motivating tool of radioprotection teaching and radiopharmacology in early semesters of pharmacy course**. Gramado, Rs. Brazil, 2014.

ALTOÉ, L, OLIVEIRA FILHO, D. Termografia infravermelha aplicada à inspeção de edifícios. Acta Tecnológica; 7: 55-59, 2012.

ARCHER, B.R.; THORNBLY, J.I.; BUSHONG, S.C. **Diagnostic X-ray Shielding Design Based on an Empirical Model of Photon Attenuation**. Health Physics, v. 44, n. 5, p. 507-517, 1983.

ARCHER, B. R. **History of the shielding of diagnostic X-ray facilities**. Health Physics, v. 69, n. 5, pp. 750-758, 1995.

ASM INTERNATIONAL. Handbook of Thermal Spray Technology. Ohio, USA: J.R. Davis, 2004.

ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological profile for barium and barium compounds**. Atlanta: United States Department of Health & Human Services, 2007. 184 p.
Disponível em: <www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp24.pdf>. Acesso em: 27 junho. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.114**. Resíduos sólidos da construção civil classe a / áreas de reciclagem. Rio de Janeiro, 2004.

AZEVEDO, F.A.; CHASIN, A.A.M. **Metais, Gerenciamento da Toxicidade**. Atheneu, Intertox, 2003.

BARROS, S. F. **Utilização de resíduo de chumbo em forma de pó em compósitos poliméricos e como revestimento em superfícies metálicas para serem aplicados em instalações radiológicas**. 114 f. Tese (doutorado em Engenharia dos Materiais, Pipe), Universidade Federal do Paraná, 2009.

BARROS, F. S.; PAREDES, R. S. C. .Merger of waste of lead in polyester resin for application of protection barriers. in: 65ºcongresso anualabm / 18th ifhtse congress / 1st tms/abm, 2010, Rio de Janeiro. 65ºCongresso Anual ABM, 2010.

BAVARESCO, G., **Estudo da Erosão por Cavitação sob Diferentes Morfologias de Revestimentos de FeMnCrSiB Aplicados por Aspersão Termica Chama FS e HVOF com Tratamento Shot Peening**. Tese doutorado em Engenharia Mecânica. UFPR. 2016.

BEJAN, A. Heat Transfer, 1ª edição. New York: Wiley, 1993

BERRY, R.J.; HOLM, N.W. Introduction to basic concepts and principles in radiation dosimetry. In: HOLM, N.W.; BERRY, R.J. (Ed.) Manual on radiation dosimetry, p. 3-9 New York, N.Y.: Marcel Dekker, 1970

BITENCOURT, K., **Utilização do resíduo de chumbo associado a argamassas e concretos como material para proteção radiológica**, Estudo das Propriedades Mecânicas e de Atenuação das Argamassas Baritadas Comerciais vinculado ao projeto PR 0393, Curitiba Pr. UTFPR, 2015. Relatório técnico. (não publicado).

BOUZARJOMEHRI, F. et al. 60 Co γ -ray attenuation coefficient of barite concrete. **Iranian Journal of Radiation Research (Print)**, v. 4, n. 2, p. 71-75, 2006.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. MS, **Portaria nº 453**. Diretrizes de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico. Publicada no Diário Oficial da União em 02 de junho de 1998.

BRASIL. Anvisa. **Portaria 453**, de 01 de junho de 1998.
Disponível em: < http://www.conter.gov.br/uploads/legislativo/portaria_453.pdf > Acesso em 28 de outubro de 2017.

BUSHONG SC. **Ciencia Radiológica para Tecnólogos**, 9ª Edição, Elsevier, Houston Texas, 2010.

CANARIN, R.C., BIANCHI, E.C. Revestimentos de Fe-Al Depositados por Aspersão Térmica, através da Reação In-Situ de Pós Elementares de Fe e Al. VI Seminário da Pósgraduação em Engenharia Mecânica. UNESP. 2011.

CASTELETTI, L. C., FERNANDES, F. A. P., TAKEYA, G. S., PICON, C. A., TREMILIOSI-FILHO, G. Avaliação da resistência à corrosão do aço AISI 420 depositado por processos variados de aspersão térmica. Rem: Revista Escola de Minas, v. 63, p. 87-90, 2010.

CEMBER, H. **Introduction to Health Physics**. Third edition, USA: Pergamon Press, p 418-462, 1996.

CHANG, I.; ZHAO, Y. **Advances in Powder Metallurgy: Properties, processing and applications** Woodhead Publishing, UK, 2013.

CNEN-NE-3.01 - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Diretrizes Básicas de Radioproteção**. São Paulo, 2005.

CNEN-NE-3.01 - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Diretrizes Básicas de Radioproteção. Resolução 164/14 São Paulo, SP., Março / 2014. Disponível em <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>> Acesso em 10 de abril de 2019 .

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN) **Normas técnicas**. Disponível em: < <http://www.cnen.gov.br/normas-tecnicas> > Acesso em 28 de outubro de 2017.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, **Norma CNEN NE 3.02** Resolução CNEN 10/88, Publicação: DOU 01.08.1988. Disponível em: <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm302.pdf>> Acesso 29 de outubro de 2017.

CORTÉS, R.S., NIÑO, C.E. Métodos Taguchi: **Uma revisão sobre aplicações em projetos de aspersão térmica**. XXI Encontro Nacional de Tecnologia de Soldagem. Anais, p.417-430. Caxias do Sul, Junho 1995.

COSTA P.R, YOSHIMURA E.M. **Determinação das propriedades de transmissão de argamassas baritadas**. Revista Brasileira de Física Médica 2011:63-7.

COSTA, P. R., et al. Evaluation of X-ray spectra transmitted by different concrete compositions. *Radiation Physics and Chemistry*, 2015, 116: 349-354. 2015.

DELFORGE, Daniel Yvan Martin et al. **Sinterization of a mixture of stainless steel scrap and powder from the same material. A new technology to recycle metals**. REM-revista Escola De Minas, 2007.

D. HICKS, et al. Biblioteca AFLOW de Protótipos Cristalográficos: Parte 2, Comp. Esteira. Sci. 161, S1-S1011 (2019). (doi = 10.1016 / j.commatsci.2018.1

DIBELLO PM, MANGANARO JL, AGUINALDO ER, et al. **Barium compounds: Barium sulfide. In: KirkOthmer encyclopedia of chemical technology.** John Wiley & Sons, Inc., 1-3. 2003.

DNPN – **Departamento Nacional de Produção Mineral.** Consulta internet: <http://www.dnpp.gov.br>. Acesso em: 20 de dezembro de 2007.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica – Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas.** Tradução de Paulo Costa Ribeiro, Enio Frota da Silveira e Marta Feijó Barroso. 13. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1979. 928 p. Título original: Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei and Particles.

EVANS R.D. **The atomic Nucleus.** USA; Robert E. Krieger Publishing Company, Inc; 1982.

FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, Angeles et al. Thermodynamic properties of the (Ba, Pb) SO₄ solid solution under ambient conditions: Implications for the behavior of Pb and Ra in the environment. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 105, p. 31-43, 2013.

GREENING, J.R. **Fundamentals of radiation dosimetry**, 2. ed. Adam Hilger, cap. 2, interactions of ionising radiations with matter. p. 6-34. England, 1985.

HEINRICH, P.; PENSZIOR, Ch.; MEINA, H. Gase zum Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen. Proceed. of the 4. Kolloquium Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen, Erding, Germany, 44-54, Nov. 1997, pp. 13-21.

HOFF, G., COSTA, P.R., 2013. A comparative study for different shielding material Composition and beam geometry applied to PET facilities: simulated transmission curves. *Rev. Bras. Eng. Bioméd.* 29 (1), 86–96. < <http://dx.doi.org/10.15392/bjrs.v2i2.20> >.

ICDD, o logotipo do ICDD e o PDF estão registrados no US Patent and Trademark Office. Arquivo de Difração de Pó, JADE, Dados dos Materiais e o logotipo dos Dados dos Materiais-JADE são marcas comerciais do JCPDS-International Center for Diffraction Data. © 2019 JCPDS-Centro Internacional para Dados.

Fonte <<http://www.icdd.com/index.php/history/>> acesso em 30/08/2019

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, **Recommendations of the international Commission on Radiological Protection ICRP Report 26, ICRP Publications.** Elmsford, NY, Pergamon Press, 1977.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION,
Recommendations of the international Commission on Radiological Protection ICRP Report 60, ICRP Publications. Elmsford, NY, Pergamon Press, 1990.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, **Radiological Protection and safety in medicine**, ICRP Report 73, ICRP Publications. Elmsford, NY, Pergamon Press, 1996.

JOHNS, H.E.; CONNINGHAN, J.R. The physics of radiology. 3 ed. Illinois, Charles C. Thomas, 1974.

KHAN, F. M. **The Physics of Radiation Therapy.** Baltimore, MD: Williams & Wilkins, Philadelphia, PA 19106 USA, 2003.

KNOLL, G.F. **Radiation detection and measurement.** Scientific research New York, N.Y.: Wiley, 1989.

KNOLL, Glenn F. **Radiation Detection and Measurement**, 3 ed. (Hoboken: John Wiley), USA, 1999.

KUSANO, M., CALDWELL, C.B. **Dose equivalent rate constants and barrier transmission data for nuclear medicine facility dose calculations and shielding design.** Health Phys. 107(1), 60–72, 2014.

LEE, JIANN-SHING et al. **Crystal structure and Raman spectral studies of BaSO₄-PbSO₄ solid solution.** Zeitschrift für Kristallographie-Crystalline Materials, v. 220, n. 1, p. 1-9, 2005.

LEN EL, V. FRITZ. METALLURGY PRINCIPLES AND APLICATIONS.
Metal powder industries Federation, Princeton, New Jersey, Copyright, 1980.

LEYTON F. et al. **Riscos da Radiação X e a Importância da Proteção Radiológica na Cardiologia Intervencionista: Uma Revisão Sistemática** Revista Brasileira de Cardiologia Invasiva. v.22, n1, p.87-98, 2014.

LIMA, C.C., TREVISAN, R. **Aspersão Térmica: Fundamentos e Aplicações.** Artliber Editora, São Paulo, 2002.

LIMA CC and Trevisan R. **Aspersão térmica: fundamentos e aplicações.** São Paulo, Artliber, 2007.

LIRA, S. A. **Planejamento de Experimentos.** Apostila. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2012.

LOPES, G. A. et al. **Determination of half-value layers and tenth-value layer to barite as shielding against X radiation in radiological protection.** Associação brasileira de energia nuclear – ABEN, 2013.

MALISKA, A.M., **Influência de elementos de liga e do oxigênio no processo nitretação por plasma em aços sinterizados.** Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, Florianópolis, outubro, 1995, UFSC. Brasil.

M. HANSEN AND K. ANDERKO, *Constitution of Binary Alloys*, McGraw-Hill, New York or General.

MARINHO, A. R. O. et al. **Characterization of limestone of region South and Southeast of Para.** CBECIMAT, Brasil, 2014.

MACHADO, I. P. **Avaliação Ambiental do Processo de Reciclagem de Chumbo.** Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 144 p. (Dissertação de Mestrado), 2002.

MARINESCU, Cornelia et al. Microstructure, stability and biocompatibility of hydroxyl apatite-titaniananocomposites formed by two-step sintering process. **Arab Journal of Chemistry**, 2017.

MAHAN, Bruce M.; MYERS, Rollie J.; **Química: um curso universitário**, Ed. Edgard Blucher LTDA, São Paulo/SP – 2002.

MARCO AURELIO DE SOUSA LACERDA, et al., **The methodology for evaluating half-value layer and its influence on the diagnostic radiology.** Radiol Bras;40(5); p 331–336. 2007.

MARINESCU, Cornelia et al. **Microestrutura, estabilidade e biocompatibilidade de nanocompósitos de hidroxiapatita-titânio formados por processo de sinterização em duas etapas.** Jornal Árabe de Química, 2017.

MENDES, M.W.D. Revestimentos a base de Ta/Al₂O₃ produzidos por aspersão térmica. Tese- Programa de pós-graduação em ciências e engenharia de materiais – PPgCEM, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal, RN, 2010.

MENEZES, DAYANNE DUTRA. **Avaliação da resistência à corrosão de revestimentos de alumínio aplicados pelas técnicas de arco elétrico e chama convencional, em meio cloreto.** Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. 2007.

MESQUITA, Glaucia Machado et al. Plan of solid waste management of batteries for a telephony sector company. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 534-542, 2015.

METCO, O. An introduction to thermal spray. 6. ed. Switzerland: OerlikonMetco, 2016a, 24 p.

MINDAT.ORG, (2019). Disponível em< <https://www.mindat.org/>> Acessado em janeiro 2019.

MJ MEHL,et al. Biblioteca AFLOW de Protótipos Cristalográficos: Parte 1, Comp. Esteira. Sci. 136, S1-S828 (2017). (doi = 10.1016 / j.commatsci.2017.01.017)

MORAES, E. C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos, INPE, 23p., 2002.

NAKAMURA, M., TSUYA,K., **Effect of Heat Treatment on Structure and Mechanical Properties of Sintered Fe-Ni Alloys**. *Powder Metallurgy*, vol.263(1983)149-154.

NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS. Structural Shielding Design for Medical X-ray Imaging Facilities. Bethesda, MD: NCRPPublications; 2004 (**NCRP Report 147**).

NOGUEIRA, M. S.; – A method for estimating attenuation coefficient of barite concrete used in irradiation protection as shielding against ionizing radiation– 17st International Conference on Solid State Dosimetry – SSD17. Recife-PE, Brasil, 22 a 27 de setembro de 2013.

NOVICKI, N. Aplicação da Aspersão Térmica na Soldagem em Operação de Tubulações com pequena espessura remanescente. Tese de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2008.

OERLIKON METCO. An Introduction to Thermal Spray. Cadernoinformativo do fabricante. n. 6, [s. l.], 2016a. Disponível em: <https://www.oerlikon.com/ecomaXL/files/metco/oerlikon_BRO0005.6_Thermal_Spray_Brochure_EN.pdf&download=1>. Acesso em: 10 mar. 2018.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. M. **Física das radiações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

OKUNO, E. **Efeitos biológicos das radiações ionizantes: acidente radiológico de Goiânia**, vol.27, n.77, pp.185-200. São Paulo, 2013.

PAREDES, R. S. C; D'OLIVEIRA, A. S. C. M.; AMICO, S. The Effect of Rugosite and

substratum Pre-heating on the Morphology of Aluminum Coating Deposited by Thermal Spray. *Surface and Coating Technology*, Elsevier, v. 200, p. 3050 – 3055, 2006.

PAREDES, R.S.C., CAPRA, A.R. Formação de intermetálicos Fe/Al através de aspersão térmica e posterior refusão e sua resistência à corrosão marinha. In: *17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais*, Foz do Iguaçu, PR, 2006.

PAREDES, Ramón S. Cortés. **Aspersão Térmica**. Universidade Federal do Paraná, 101p, 2009.

PAWLOWSKI, L. Finely grained nanometric and submicrometric coatings by thermal spraying: A review. *Surface and Coatings Technology*, vol. 202, p. 4318-4328, 2008a.

PAWLOWSKI, L. **The science and engineering of thermal spray coatings**. 2nd ed. Southern Gate: John Wiley Ltd, 2008.

PODGORSKAK, E.B. **Radiation oncology physics: a handbook for teachers and students**. International Atomic Energy Agency. cap. 1, basic radiation physics. p. 1-43, Viena, 2005.

PROJETO FINEP CT-INFRA793/2004 e 3080/2011

RAMÓN S.CORTÉS P.; AUGUSTO J.A. BUSCHINELLI.; Marcelo T. Piza P. **Propriedades dos revestimentos de alumínio depositados por aspersão térmica**. Curitiba/Pr. Sem data.

REISEMBERGER, G.G. Análise e triagem de tumor benigno a partir de imagens de infravermelho. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Pr. 2014.

ROCHA, A. J. D. Perfil Analítico do Chumbo, Ministerio de Minas e Energia, Boletim Nº 8, 1973.

RUSSELL, John B.; **Química Geral** vol.1, São Paulo: Pearson Education do Brasil, Makron Books, 1994.

SAMPSON, E. R., 1997, “**Thermal Spray Coatings for Corrosion Protection: Na Overview**”, *Coatings & Linings*, Vol. 36, n. 12, pp. 27-29.

SCAFF, L. **Bases físicas da radiologia: Diagnostico e terapia**. São Paulo, Sarvier, 334 pg. 1979.

SEARES, Marcelo Costa; FERREIRA, Carlos Alexsandro. **A importância do conhecimento sobre radioproteção pelos profissionais da radiologia**. CEFET, Núcleo de Tecnologia Clínica, Florianópolis, 2002.

SILVA, Indianara; FREIRE JR, Olival. **A descoberta do efeito Compton: De uma abordagem semiclássica a uma abordagem quântica.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, n. 1, p. 1601, 2014.

SOBRAL, L. G. S.; OLIVEIRA, D. M.; SOUZA, D. E. G.; SILVA, S. C. A. F.; BRAGA, P. F. A. **Metalurgia do chumbo: processos de produção e refino.** In: FERNANDES, Francisco Rego Chaves; BERTOLINO, Luiz Carlos; EGLER, Silvia (Ed.). 2. ed. *Projeto Santo Amaro – BA: aglutinando ideias, construindo soluções.* Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012. p. 150-173. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/santo_amaro/pdf/cap12.pdf> Acesso em: 27 ago. 2015.

STOLTENHOFF, T.; KREYE, H.; RICHTER, H. J. **An analysis of the cold spray process and its coatings.** Journal of Thermal Spray Technology, v. 11, n. 4, p. 542-550, 2002.

SUCHARSKI, GUSTAVO B., AGUIAR, Lucas A., POLAK, Pedro I., PAREDES, Ramón S.C., VAZ, Ana P.; **Estudo comparativo da morfologia das superfícies de TiO₂ depositadas por aspersão térmica a plasma spray.** Universidade Federal do Paraná – 2011.

SUCHARSKI, G. B. ; ARAUJO, I. B. ; PUKASIEWICZ, A. G. M. ; PAREDES, R. S. C. Mechanismsofcavitationerosion for twodifferentmorphologiesofthermal spray coatings. In: EuropeanAdvancedMaterialsCongress, 2016, Stockholm. TheproceedingsandabstractsbookofEuropeanAdvancedMaterialsCongress, 2016.

TAGUCHI, G., et. al. **Engenharia da Qualidade em Sistemas de Produção.** São Paulo: McGraw-Hill, 1990.

TANIGUTI, L.T., Costa, P.R., 2011. Comparativestudyoftwomethodologies for Structuralshieldingdesignofimagingfacilities. **Rev. Bras. Fís. Méd.** 05, 205–208

TANNURE, Patricia Nivoloni et al. Oral health and risk factors for dental caries of low-income scholars enrolled in a full-time study program. **Arquivo Brasileiro de Odontologia**, v. 14, n. 1, p. 43-52, 2018.

TAUHATA, L.; SALATI, I.; DI PRINZIO, R.; DI PRINZIO, A. - **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos** - 5ª revisão - IRD/CNEN. 344p. Rio de Janeiro. Abril/2003.

TAUHATA, L.; SALATI, I.; DI PRINZIO, R.; DI PRINZIO, A. - **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos** - 10ª revisão - IRD/CNEN. 344p. Rio de Janeiro. Abril /2014.

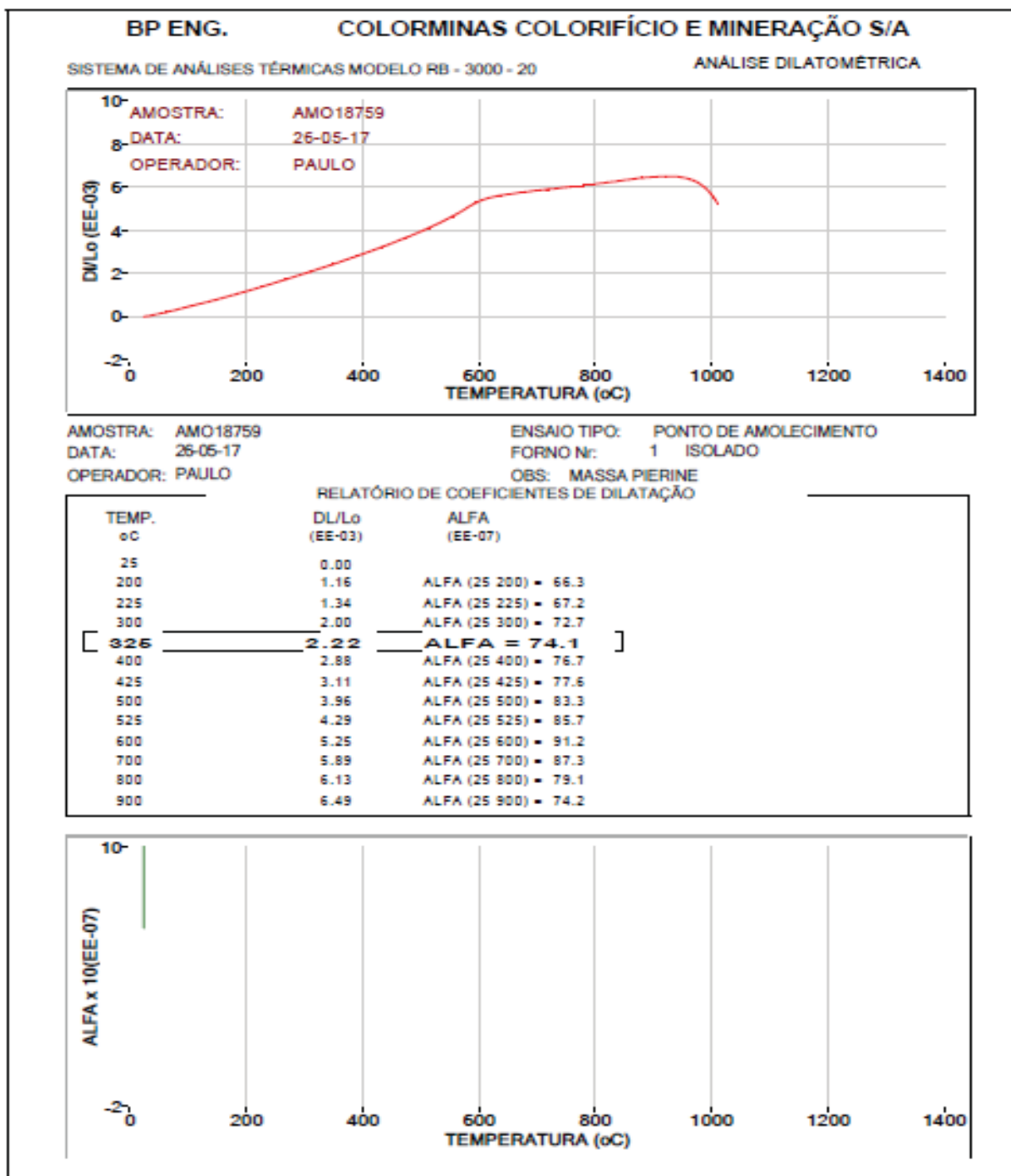
TUCKER JR, R., **Surface Engineering.** ASM International. Vol 5. p. 1446-1463. 1994.

UNGER, R.H., 2003. **Termal Spray Coating. Handbook Corrosion- Fundamentals, Testing, and Protection**, Vol. 13 A. ASM International. p. 1043-1058, 2003.


XCOM, Program. National Institute of Standard Technology (NIST). Disponível em: <<http://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/html/xcom1.html>>. Acessado em 17 de maio de 2019.

YOSHIMURA, Elisabeth Mateus. **Física das Radiações: interação da radiação com a matéria.** Revista Brasileira de Física Médica, v. 3, n. 1, p. 57-67, 2009.

APÊNDICE 1 – Sistema de Análises Térmicas





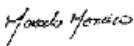
APÊNDICE 2 – Especificação de Produto Acabado

	ESPECIFICAÇÃO DE PRODUTO ACABADO		Revisão: 02
	BRM F 14-EPA 10.01 – BARITA 800/325		Data: 24/10/07
			Página: 1/1

1- CARACTERÍSTICAS INFORMATIVAS		
1.1 – Composição Básica: Sulfato de Bário (BaSO_4)		
1.2 – Características Químicas Típicas – Referencial		
BaSO_4		77,30 %
SiO_2		20,6 %
Al_2O_3		0,58 %
Fe_2O_3		0,23 %
A análise química é uma média de vários lotes e não é controlada lote a lote, portanto serve somente como referencial.		



2- PROPRIEDADES CONTROLADAS		
CARACTERÍSTICAS	LIMITE DE VARIAÇÃO	MÉTODO DE ENSAIO
Absorção DOP (%)	12,0 a 22,0	IT BRM 3
Absorção Óleo Linhaça (%)	10,0 a 19,0	IT BRM 2
Cor	BRANCA	IT BRM 19
Densidade Aparente (g/cm^3)	1,70 a 2,10	IT BRM 20
Densidade Aparente (g/cm^3)	1,70 a 2,10	IT BRM 20
Perda ao Fogo (850°C) (%)	Máx. 0,5 %	IT BRM 11
Peso Específico (g/cm^3)	3,50 a 4,10	IT BRM 7
pH (solução aquosa 5%)	7,0 a 11,0	IT BRM 9
Retenção 325 mesh (0,045 mm)	Máx. 1,0 %	IT BRM 8
Umidade (%)	Máx. 0,5 %	IT BRM 10

3 – EMBALAGEM: Sacos de papel kraft de 2 folhas com peso líquido de 25 kg por saco e Big Bag de 500 kg		
4 – MANUSEIO E ESTOCAGEM: Manuseio e armazenamento em local seco e arejado. Empilhamento máximo de 2 pallets.		
5 – PRAZO DE VALIDADE: 5 anos		

ELABORAÇÃO/REVISÃO	ANÁLISE CRÍTICA	APROVAÇÃO
Nome: Alberto S. Santos	Nome: Reginaldo da Silva	Nome: Marcelo Monaco da Cunha
Data: 03/07/06	Data: 03/07/06	Data: 03/07/06
Assinatura: 	Assinatura: 	Assinatura: 

CONTROLE DE REVISÕES		
Revisão	Descrição	Data
00	Emissão inicial.	14/07/00
01	Padronização estética para documentos da qualidade. Atualizações nas propriedades físicas e químicas	03/07/06
02	Atualização da numeração do método de ensaio	24/10/07

APÊNDICE 3 – Resultados de Análise Granulométrica

		RESULTADOS DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR DIFRAÇÃO DE RAIOS LASER			
Cliente:	Frieda Saicia Barros	Preparação:	Laser		
Material:	Resíduo de Chumbo	Equipamento:	Granulômetro CILAS 1064		
Nº Lamir:	348/07 B	Tempo de Ultrassom:	60 segundos		
Nome da Amostra:	Resíduo de Chumbo	Técnica:	Elielane R. Pescini		
Massa Inicial (g):	100,00	Data:	4/10/07		
MALHAS (TYLER)	ABERTURA (mm)	PORCENTAGEM RETIDA (%)	% EQUIVALENTE	% ACUMULADA ACIMA	% ACUMULADO ABAIXO
35	0,425	0,00	-	-	100,00
42	0,355	0,00	-	-	100,00
48	0,300	0,00	-	-	100,00
60	0,250	0,00	-	-	100,00
100	0,150	0,00	-	-	100,00
170	0,085	0,00	-	-	100,00
200	0,075	0,00	-	-	100,00
250	0,063	0,00	-	-	100,00
270	0,053	0,00	-	-	100,00
325	0,043	0,00	-	-	100,00
400	0,038	0,00	-	-	100,00
500	0,028	1,64	1,64	1,64	98,36
635	0,020	11,15	11,15	12,79	87,21
	0,010	30,43	30,43	43,22	56,78
	0,006	18,09	18,09	61,31	38,69
	0,003	13,28	13,28	74,59	25,41
	0,001	10,03	10,03	84,62	15,38
menor 0,001	0,000	15,38	15,38	100,00	0,00
MASSA FINAL (g):		micrômetros			
		Dâmetro 10%	0,5	Dâmetro 90%	21,22
		Dâmetro 50%	0,34	Dâmetro médio	0,90
		Prof. JM Reis Neto			
		Coord. LAMIR			